

UNIVERZITA KARLOVA

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Energetická náročnost chůze na slackline

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Jan Klaus

Praha, 2021

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou 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 diplomanta

Evidenční list

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

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

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především vedoucímu práce doc. Jiřímu Balášovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval, odborné vedení, věcné rady a připomínky. Děkuji všem účastníkům výzkumu, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout a velký dík patří Mgr. Janu Gajdošíkovi za pomoc při měření a doc. Mgr. Michalovi Štefflovi, Ph.D. za přínosnou konzultaci. Velké poděkování bych chtěl věnovat rodině, bez které by mé studium nebylo možné.

Abstrakt

- Název:** Energetická náročnost chůze na slackline
- Cíl:** Cílem tohoto výzkumu bylo posoudit energetickou náročnost balancování a chůze na slackline u populace mírně pokročilých a pokročilých dospělých slacklinerů.
- Metody:** V této observační studii 19 slacklinerů (10 mírně pokročilých, z toho 7 mužů a 3 ženy; 9 pokročilých, z toho 7 mužů a 2 ženy) absolvovalo experimentální měření energetické náročnosti chůze na slackline metodou nepřímé kalorimetrie. Ke zjišťování respiračních parametrů byl použit metabolický analyzátor MetaMax 3B (Cortex Biophysik, Německo) a ke zjištění srdeční frekvence (SF) hrudní snímač SF (sporttester, Polar Electro OY, Finsko). V rámci analýzy dat byly použity komparativní statistické nástroje.
- Výsledky:** U chůze na 10 m dlouhé slackline konstantní rychlostí $15 \cdot \text{min}^{-1}$ byla zjištěna relativní energetická náročnost $0,471 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ u mírně pokročilých slacklinerů a $0,377 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ u pokročilých slacklinerů. U stoje na slackline byla zjištěna relativní energetická náročnost $0,368 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ u mírně pokročilých slacklinerů a $0,289 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ u pokročilých slacklinerů. Vážený aritmetický průměr SF mužů a žen při chůzi na slackline rychlostí $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ byl na hodnotě 67,3 % předpokládané SF_{max} (220 – věk pro ženy, 226 – věk pro muže). Hodnota MET u skupiny pokročilých (n = 10) byla stanovena na 5,15, u skupiny mírně pokročilých (n = 9) 6,44.
- Závěr:** Chůzi na slackline lze podle hodnot EE a SF považovat za aktivitu na pomezí střední a vysoké intenzity zatížení. Samotný stoj na slackline představuje zatížení několikanásobně vyšší než stoj na zemi. Rychlost chůze v některých případech významně ovlivňuje EE a SF.
- Klíčová slova:** rovnováha, posturální stabilita, nepřímá kalorimetrie, chůze, MET

Abstract

- Title** Energy expenditure of slackline walking
- Objectives** The aim of this study was to investigate the energy expenditure of slacklining in intermediate and advanced slackliners.
- Methods** In this observational study, 19 slackliners (10 intermediate, of which 7 men and 3 women, 9 advanced, of which 7 men and 2 women) completed experimental energy expenditure measurement of slacklining using indirect calorimetry. The MetaMax 3B metabolic analyzer (Cortex Biophysik, Germany) was used to determine respiratory parameters and the heart rate monitor (Polar Electro OY, Finland) was used to determine the heart rate (HR). Comparative statistical tools were used in the data analysis.
- Results** Relative energy expenditure of $0,471 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ was found in intermediate slackliners and $0,377 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ in advanced slackliners in walking on a 10 m long slackline at a constant speed of $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. In the static standing on slackline, the relative energy expenditure was found to be $0.368 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ in intermediate slackliners and $0.289 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ in advanced slackliners. The weighted arithmetic mean for HR in men and women walking on the slackline at $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ was at 67.3% of the predicted HR_{max} (220 - age for men, 226 - age for women). The MET value in the advanced group (n = 10) was set at 5.15, and in the intermediate group (n = 9) at 6.44.
- Conclusion** Slackline walking can be considered as an activity of between medium and high intensity according to the values of EE and HR. The static standing on the slackline shows a load several times higher than standing on the ground. Walking speed, in some cases, significantly influences EE and HR.
- Keywords** Balance, equilibrium, postural control, stability, gait, indirect calorimetry, MET

1 ÚVOD	10
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2.1 Charakteristika chůze na slackline	11
2.1.1 Historie	11
2.1.2 Definice chůze na slackline jako sportu a volnočasové aktivity.....	12
2.1.3 Výbava.....	13
2.1.4 Disciplíny.....	14
2.1.5 Technika	15
2.1.5 Využití slackline.....	17
2.1.7 Zdravotní aspekty chůze na slackline, prevence zranění a civilizačních nemocí.....	19
2.2 Rovnováha.....	22
2.2.1 Rovnováha bipedálního vzpřímeného stoje	24
2.2.2 Systémy zajišťující rovnováhu	26
2.2.2.1 Somatosenzorický systém	28
2.2.2.2 Vizuelní systém.....	30
2.2.2.3 Vestibulární systém	32
2.2.3 Testování rovnovážných schopností	33
2.3 Energetická náročnost rovnovážných cvičení	34
2.3.1 Energetické zajištění pohybových aktivit	35
2.3.1.1 Oxidativní systém.....	37
2.3.2 Energetická náročnost vzpřímeného stoje a chůze	38
2.3.3 Aerobní zdatnost a kardiorespirační ukazatele.....	41
2.3.4 Energetická náročnost balancování	46
2.3.5 Stanovení energetické náročnosti.....	47
2.3.5.1 Nepřímá kalorimetrie.....	48
2.3.5.2 Doporučení na frekvenci, intenzitu a trvání aerobní aktivity pro dospělé.....	50
3 PRAKTICKÁ ČÁST	52
3.1 Výzkumné otázky.....	52
3.2 Cíle práce	52
3.3 Úkoly práce.....	52
3.4 Metodika práce	53
3.4.1 Soubor.....	53
3.4.2 Realizace měření	53

3.4.3	Antropometrické a tréninkové ukazatele	55
3.4.4	Posouzení energetické náročnosti	56
3.4.5	Vyhodnocování výsledků	57
3.5	Výsledky.....	57
3.5.1	Energetická náročnost	61
3.5.2	Energetická náročnost chůze na slackline vyjádřená v MET	62
3.5.3	Velikost zatížení podle srdeční frekvence	63
3.5.4	Vliv rychlosti chůze na EE a SF	64
4	DISKUSE	66
5	ZÁVĚR.....	72
6	BIBLIOGRAFIE.....	74

Seznam použitých symbolů a zkratek

- ACSM – American College of Sports Medicine
APA – anticipatory postural adjustments
ATP-CP – anaerobně laktátová zóna metabolického krytí
CNS – centrální nervová soustava
CPA – compensatory postural adjustments
CPC – compensatory postural control – reaktivní posturální kontrola
CO₂ – oxid uhličitý
DF – dechová frekvence
EEO₂ – energetický ekvivalent kyslíku
EV – energetický výdej
EE – energetická náročnost
ChUR – chůze určenou rychlostí (15 m/min)
ChUR – chůze vlastní rychlostí
ISA – International Slackline Association
MET – metabolický ekvivalent úkolu
MTR – maximální tepová rezerva
O₂ – kyslík
RER – poměr respirační výměny
RQ – respirační koeficient
SF – srdeční frekvence
SFmax – maximální srdeční frekvence
SFklid – klidová srdeční frekvence
SJ – stoj na jedné noze na pevné podložce
SJS – stoj na jedné noze na slackline
SFT – tréninková srdeční frekvence
Stoj – stoj s chodidly v paralelním postavení na šíři boků na pevné podložce
STPD – korekční faktor pro standardizaci podmínek prostředí
BTPS - korekční faktor pro standardizaci podmínek prostředí
TDEE – total daily energy expenditure (celková denní energetická náročnost)
V_E – minutová plicní ventilace
VC – vitální kapacita
VCO₂ – výdej oxidu uhličitého
VO₂ – spotřeba kyslíku
VT – dechový objem

1 Úvod

Chůze na slackline je poměrně mladým, rychle se rozvíjejícím sportem, který si především v posledních letech získává stále více příznivců. Téma energetické náročnosti chůze na slackline jsme zvolili z toho důvodu, že v této oblasti nebyl dosud sesbírán dostatek dat, nebo nám alespoň nejsou známa. Nejrůznější benefity chůze na slackline zkoumány sice byly, ale pokud je nám známo, oblast energetické náročnosti, která u sportovních činností patří mezi velmi významné ukazatele, studována nebyla. Rovněž toto téma zapadá do výzkumné činnosti prováděné na katedře sportů v přírodě FTVS UK. Sám se chůzi na slackline aktivně věnuji více než 10 let a tak u psaní této práce mohu využít svých znalostí slacklinového světa.

Chůze na slackline je příkladem urbanizovaného outdoorového sportu, který může být zajímavý pro všechny, kteří vyhledávají sportovní aktivity v přírodě, ale žijí ve městech. Zejména outdoorově zaměřeni sportovci mají v zastavených městských oblastech velmi omezené možnosti k naplnění svých pohybových potřeb. Chůze na slackline může být skvělým prostředkem ke sportovnímu vyžití pod širým nebem uprostřed města i mimo něj, naplnění zdravotních požadavků na pravidelný pohyb, socializaci s přáteli, psychohygienu, seberealizaci a relaxaci na konci pracovního dne. V některých evropských a mimoevropských městech vznikají speciální parky přizpůsobené k ukotvování slackline. U nás dosud chybí širší povědomí o této aktivitě a při revitalizaci městských parků zatím nebyly brány v potaz požadavky slacklinerů. Doufáme, že tato práce poukáže na příznivé, zdraví prospěšné aspekty této pohybové činnosti, přinese nové poznatky o pozitivním vlivu na zdraví a pomůže rozšířit povědomí o slackline také mimo sociální bublinu sportovní veřejnosti.

Tuto práci jsme zaměřili na výzkum energetické náročnosti a doufáme, že nové poznatky budou přínosné pro další výzkum i využitelné v praxi.

Cílem tohoto výzkumu je posoudit energetickou náročnost balancování a chůze na slackline u populace mírně pokročilých a pokročilých dospělých slacklinerů.

Zjištěné hodnoty EE chůze na slackline převedeme na hodnoty MET a konfrontujeme je s doporučeními na preskripce minimálního objemu aerobních aktivit pro dospělou populaci stanovenými organizacemi ACSM a WHO.

2 Teoretická část

2.1 Charakteristika chůze na slackline

Slackline je nový, populární a rychle se rozvíjející rekreační pohybová aktivita a sport, vyhledávaný především mladými, outdoorově orientovanými lidmi (Balcom, 2005). Je to moderní adaptace provazochodectví, které díky novým technologiím prošlo evolucí a vyvinulo se v dnešní chůzi na slackline (Gabel, 2014). Jedná se o stoj nebo pohyb, za současného udržování rovnováhy, po popruhu napnutém mezi dvěma kotvícími body (Gabel & Mendoza, 2013).

2.1.1 Historie

Chůzi po laně, provazochodectví neboli funambulismus (z latinského funis – provaz, a ambulare – chodit) lidé znali už ve starověkém Řecku a Římě. Na program antických olympijských her se tato aktivita nedostala, protože na funambuly bylo nahlíženo spíše jako na baviče, šašky nebo umělce než jako sportovce (Balcom, 2005). Chůze po laně měla své místo v mnohých civilizacích po celém světě, prošla různými transformacemi a obdobími obliby i odsuzování (Jenks, 2020). Charles Blondin v druhé polovině devatenáctého století odstartoval éru přecházení Niagarských vodopádů, vařil na laně nad nimi omeletu, chodil po chůdách, pil pivo a další provazochodci vymýšleli nové kousky, aby pobavili a šokovali veřejnost. V sedmdesátých letech dvacátého století Philippe Petit přešel po laně mezi věžemi katedrály Notre Dame i věžemi Obchodního světového centra (Leckert, 2014).

Na začátku osmdesátých let lezec Adam Grosowsky, inspirovaný cirkusovou chůzí na visutém laně, spolu s dalšími lezci začali přecházet nad nádvořím jednoho univerzitního kampusu na západním pobřeží USA po různých materiálech, včetně jednoho palce tlustého popruhu, který pro svůj nový sport shledali nejvhodnějším. Inspirovali celou řadu dalších lezců a podnítili tak vznik nového sportu, který svými možnostmi, variabilitou a potenciálem masově se rozšířit mezi širokou veřejnost daleko přesahuje funambulismus, z kterého se nepřímo vyvinul (Venkatramani, 2018; International Slackline Association, 2019). Ve velkém se sport začal rozšiřovat v roce 2006, kdy se začali vyrábět jednoduché

slacklinové sety dostupné všem (ISA, 2019). Do povědomí i nesportovní veřejnosti se balancování na úzkém popruhu dostalo v roce 2012, kdy Andy Lewis světu předvedl svoji performance v poločase na Super Bowlu, finále americké fotbalové ligy.

2.1.2 Definice chůze na slackline jako sportu a volnočasové aktivity

Slackline jako sportovní činnost lze definovat jako úkon stoje nebo pohybu po napnutém popruhu a udržování rovnováhy (Gabel & Mendoza, 2013). Slackline obnáší balancování na nejčastěji 2 cm až 5 cm širokém, placatém popruhu ze syntetické tkaniny, upevněném mezi dvěma kotvicími body (Balcom, 2005). Pojem *slackline* označuje samotnou aktivitu, sport, a zároveň reprezentuje objekt, po kterém se chodí, tedy placatý popruh (Chavaroche, 2018; ISA, 2019). Balancování na slackline je příkladem neuro-mechanického úkolu, kde celé tělo jak řídí, tak i reaguje na dynamiku vnějšího prostředí (Paoletti & Mahadevan, 2012). „Slack“ v překladu znamená volný, povolený, měkký a označuje vlastnosti slackliny, které definují tento sport a odlišují ho od funambulismu.

Základní dovedností na slackline je udržování rovnováhy na jedné noze (Strejcová, Šimková & Baláš, 2013). Balancuje se nejčastěji ve stoje, zpravidla při chůzi, není to ale podmínkou. Lze využít všechny části těla, provádět statické, dynamické i akrobatické figury, pohybovat se dopředu i dozadu, skákat nebo setrávat v různých polohách bez pohybu. Dynamické figury a skoky jsou možné díky elastickým vlastnostem slackline, které se pod zatížením protáhnou a tak jsou schopny absorbovat a vrátit energii zpět slacklinerovi (ISA, 2019), stejně jako struny výpletu tenisové rakety tenisovému míčku. To je hlavní rozdíl mezi slackline a funambulismem. Další významný rozdíl je praktický, slackline na rozdíl od lana lze upnout mezi téměř jakýmkoli dvěma pevnými body ve velmi krátkém čase (ISA, 2019).

„Slackliner“, slovo odvozené od „slackline“, označuje osobu provozující tuto aktivitu. U slacklinerů lze konstatovat, že výběr jejich sportovní a volnočasové aktivity koreluje i s psychickými vlastnostmi a životním stylem příslušníků slacklinové komunity. Na téma *motivace ve slackline* z pohledu sportovní sociologie a filozofie napsal práci Lionel Chavaroche (2018). V relativně rozsáhlém sociologickém průzkumu v různorodé slacklinové komunitě stanovil tři nejčastější důvody, stimuly, které slacklinery motivují (ať už samostatně nebo v různých kombinacích dohromady) k provozování jejich pohybové aktivity. Prvním důvodem je sportovní výkon, umělecký (estetický,

akrobatický, chůze na slackline sladěná s hudebním doprovodem, různá vystoupení a umělecké performance) nebo měřitelný (délka zdolané slackline, výška umístění slackline, obtížnost provedených triků). Druhým stimulem je potřeba socializace, potřeba patřit do nějaké komunity nebo skupiny. Třetím důvodem je *environmentální sounáležitost* a potřeba *úniku*, která propojuje především dedikované slacklinery, z nichž většina se ke slackline dostala od horolezectví. „*Únik do divoké přírody poskytuje příležitost k jejímu dočasnému přivlastnění.*“ (Chavaroche, 2018, s. 26). „*Chůze na highline umožňuje ponořit se do přírody. Zajisté nabízí neuvěřitelné úhly pohledu. Nad to vše mě nutí uvědomit si, že jsem součástí tohoto místa, a že i to místo je součástí mě.*“ V rozhovoru s anonymním slacklinerem z 18. července 2017 zaznamenal Chavaroche (2018, s. 26). 93% slacklinerů tvrdí, že jsou citliví k záležitostem ekologie (Chavaroche, 2018). Pohyb na slackline je pohybem v otevřeném prostoru, kdy nemáme kontakt s ničím jiným než se vzduchem a se slackline. Na slackline se ocitáme v prázdnotě. Chavaroche píše: „*Prázdnota nás pomocí smyslového prohlubování dostává do skutečnějšího, opravdovějšího a intimnějšího prostoru.*“

Slackline, jako nový, rychle se vyvíjející a populární sport, je moderní adaptace funambulismu, píše Gabel (2014) a označuje slackline za evoluci chůze po laně. Nové technologie dovolily vyrobit placatý popruh, který je pružný, lehký a jednoduchý na instalaci (Gabel, 2014). Slackline je outdoorovým sportem, který se postupem času stává velmi urbanizovaný. Jako všechny outdoorové urbanizované sporty může být problémem pro místní úřady a městskou policii, ať už kvůli bezpečnosti, ukotvováním slackline na stromy v parcích, případně budovy, zábradlí, sloupy a lampy, nebo v otázkách veřejného prostranství a soukromého majetku (Adamkiewicz, 2001)

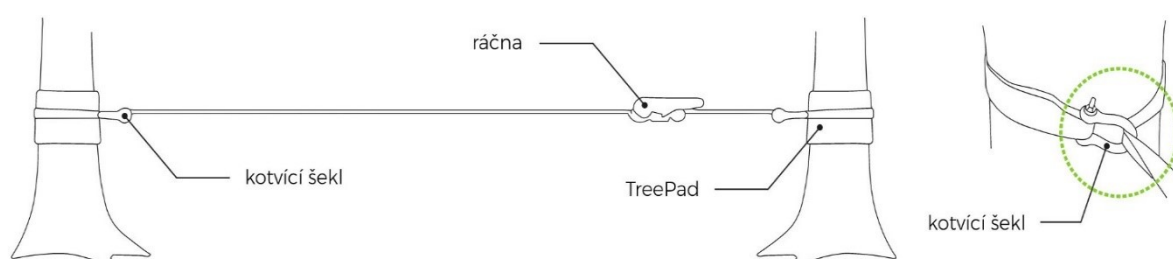
2.1.3 Výbava

Pro chůzi na slackline se nejčastěji používá 2,5 cm (1 palec) široký popruh vyrobený z polyesteru a jeho pevnost bývá okolo 30 kN. Pro krátké slackliny je vhodné zvolit popruh s vyšší průtažností, aby se docílilo potřebné dynamičnosti a zabránilo se pocitu chůze po statickém, ocelovém laně. Pro dlouhé slackliny (nad 50 m) se volí popruhy s nízkou nebo velmi nízkou průtažností (Slackshop.cz). Pro různé triky, figury, skoky a akrobacii se používají slackliny široké 5 cm (2 palce) vyrobené z flexibilního nylonu nebo polyamidu. Pro napnutí slackline mezi dvěma body, nejčastěji stromy, je zapotřebí napínací zařízení.

U kratších slackline (do 30 m) poslouží ráčna, u delších je ideální zvolit kladkový systém. Pro uchycení slackline na stromech je nutné použít tzv. „tree pad“, „tree protector“ neboli „chránič stromů“, což může být i kus koberce, s kterým se podloží slackline tak, aby se chránila kůra stromů. Konec slackline s okem se omotá kolem kmene stromu v požadované výšce a pomocí kotvícího šeklu se spojí se slackline, jako tomu je na obrázku č. 1. S druhou částí slackline, na které je umístěna ráčna, se provede to samé. Je možné vynechat šekl a celou slackline přímo protahovat okem na jejím konci.

Obrázek 1

Schéma instalace slackline mezi dvěma stromy pomocí ráčny a kotvícího šeklu



(Kuchařová, 2020)

2.1.4 Disciplíny

Standardní slackline (někdy nazývaný lowline nebo shortline) je jakýkoli slackline, který je kratší než 50 m a ukotvený obvykle ve výšce kolen, boků nebo ramen. Perfektní zvládnutí chůze na standardním slackline je prerekvizitou pro další disciplíny.

Trickline neboli **jumpline** je zpravidla 3,5 - 5 cm široký slackline vyrobený z materiálu s vyšší průtažností (12 % - 16 % při 10 kN), většinou polyamidu, který se napíná nejčastěji na délku 10-25 m. Správně natažená trickline se chová jako trampolína a umožňuje tak skoky a měkké dopady. Trickline se ve srovnání s podobně dlouhým standardním slackline napíná pevněji, aby lépe vracel energii, proto se k jejímu napnutí často používá kladkový systém nebo dvě ráčny, na každé straně jedna. Princip skoku zde lze fyzikálně vysvětlit jako deformaci (v tomto případě natažení) slackline při odrazu a tím zvýšení potenciální energie pružnosti neboli elastické energie. V nejnižším bodě po sestupné fázi, kdy se slackliner ve vertikálním pohybu zastaví a dosáhne nulové kinetické energie, vznikne maximální potenciální energie pružnosti, kterou následně využije při pohybu vzhůru (Baláž et al., 2011).

Za **longline** je považován slackline minimálně 100 m dlouhý, který ale může mít i přes 2 km. Nejčastěji se setkáme s 2,5 cm širokým, polyesterovým slackline, u kterého hlavní roli hraje pevnost a hmotnost.

Highline je slackline natažený v takové výšce, z které již není bezpečné seskakovat, často i stovky metrů vysoko. Pro zabezpečení chodce se používá jištění – lezecký úvazek a speciální odsedka se dvěma tzv. „leashring“, kruhy o průměru 6 cm uchycenými přímo na slackline. Pod hlavním slackline, po které se chodí, se dává druhý, záložní (backup) slackline.

Dalšími disciplínami je třeba **waterline**, slackline natažený nad vodou, nebo **rodeoline**, volný, prověšený slackline, který klade výrazně vyšší nároky na rovnováhu (slackline.co.uk, nedatováno).

V posledních letech se slackline začal hojně využívat také ve fitness, kde s ní trenéři a sportovci dosahují výtečných výsledků, především pro posílení hlubokého stabilizačního systému a zlepšení rovnovážných schopností. Toto nové fitness odvětví se nazývá **fitness slackline** (Peterson, 2017).

2.1.5 Technika

Pro začínající slacklinery je u prvních pár tréninků vhodné zvolit délku slackline pouze 3 – 5 metrů a umístit ji maximálně do výše kolen. U prvních přechodů a uvykání si na pohyb po slackline začátečnickům velmi pomůže, když se budou moci někoho přidržovat za ruku. Slackline se bude klepat (oscilovat), cílem ale není toto klepání zklidnit, ale pokračovat v chůzi i přes tuto komplikaci, která k pohybu po slackline neodmyslitelně patří. Často se stává, že především začátečníci kvůli hlubokému soustředění zapomínají dýchat, čemuž by se měli snažit vyvarovat. Pro učení se chůze na slackline nejsou důležité překonané metry, ale čas strávený balancováním (Kuchařová, 2020). Při chůzi musí být zpevněny svaly a tak stabilizovány hlezenní, kolenní a kyčelní klouby. Celé tělo musí být připraveno reagovat na dynamiku vnějšího prostředí (Paoletti, & Mahadevan, 2012).

Základní pozice neboli základní stoj na slackline se podle Kroiße (2007) rozděluje na stoj na obou nohách a stoj na jedné noze. Stoj na obou nohách je stojem měrným, kdy chodidla spočívají za sebou a jsou paralelně umístěná na středu slackline, hmotnost je mezi nimi rovnoměrně rozmístěná. U stoji na jedné noze je stojné chodidlo umístěno na slackline

paralelně se slackline a volná noha vyvažuje ve volném prostoru na straně, na úrovni stojné nohy. Kolena by neměla být zcela propnutá, ale mírně pokrčená (Kroiß, 2007). Paže slouží pro vyrovnávání pohybů dolních končetin, vyrovnávání vibrací slackline a pro balancování, měly by být nad úrovní ramen a uvolněny (Kuchařová, 2020). Důležité je také udržovat tělo ve vzpřímené poloze, stabilizovat hlavu (referenční stabilní bod těla) a zrak fixovat na nepohyblivý pevný bod, ke kterému se slackliner při chůzi snaží dostat. Bylo zjištěno, že při rovnovážných úkolech se člověk kymácí méně, když fixuje zrak na nepohyblivý bod, než když nemá žádný „vizuální kotvící bod“, a také, že rovnovážné schopnosti více benefitují z pevného bodu, který je blíže, oproti bodu vzdálenějšímu (Schärli et al, 2013). Při chůzi na slackline se v důsledku střídání nohou komplikuje udržování rovnováhy a tak se vysokou mírou musejí zapojit posturální svaly (Balcom, 2005).

Jednotlivé části každé slackline mají v závislosti na vzdálenosti od kotvících bodů různé vlastnosti. První a poslední metry jsou mnohem rigidnější, statictější a oproti středu slackline může chůze po nich připomínat spíše chůzi po visutém laně. Prostředek slackline je oproti jejím krajům nestabilní a dovoluje velké výkyvy do stran. V průběhu slackline se nachází místo, tzv. „sweet spot“, které má nejvhodnější vlastnosti pro balancování. Oproti středu slackline je úsek kolem „sweet spot“ stabilnější a oproti jejím krajům přizpůsobivější, proto je toto místo nejvhodnější pro učení nových figur, stání a balancování. „Sweet spot“ se podle délky a vlastností slackline nachází přibližně v jedné čtvrtině od místa kotvení u kratších slackline (Kroiß, 2007) a přibližně 2 – 3 m od kotvení u delších slackline.

Proces motorického učení směřující ke zdatnosti v chůzi na slackline obnáší tři fáze. *Kognitivní fáze* představuje odmítnutí neúčinných strategií udržování rovnováhy a adaptaci těch účinných, které přinášejí rychlé zlepšení. V *asociativní fázi*, která trvá týdny až měsíce, se získávají a konsolidují dovednosti a zvyšuje se konzistentnost výkonu. Ve třetí, *autonomní fázi*, která trvá měsíce až roky, se osvojuje schopnost vykonávat dovednosti bez vědomé snahy (Gabel & Mendoza, 2013).

Gabel a Mendoza (2013) sestavili model progresivní metodické řady na chůze a jiných pohybů na slackline, skládající se ze čtyř fází a 20 kroků, jejichž cílem je zvládnutí této aktivity. Tento protokol je primárně určen k využití v klinické praxi, je ale vhodný k

osvojování dovednosti pro začátečníky všeobecně. Je doplněn o další dvě fáze pro pokročilé. K modifikování obtížnosti je možné měnit délku a napnutí slackline.

Tabulka 1

Čtyř fázový protokol progresivní metodické řady podle Gabela a Mendoza

Fáze a kroky	Pozice a úkoly
Fáze 1 – začátečníci: stoj	
1	Stoj na jedné noze - dominantní
2	Stoj na jedné noze - nedominantní
3	Stoj na dominantní noze a dotek druhou nohou vzadu
4	Stoj na nedominantní noze a dotek druhou nohou vpředu
5	Stoj na nedominantní noze a dotek druhou nohou vzadu
6	Stoj na dominantní noze a dotek druhou nohou vpředu
Fáze 2 – mírně pokročilí: chůze	
1	Chůze popředu
2	Chůze pozadu
3	Tandemový stoj s dominantní nohou vzadu
4	Tandemový stoj s dominantní nohou vpředu
Fáze 3 – středně pokročilí: tandem	
1	Tandemový stoj, otočka na přirozenou stranu s nedominantní nohou vpředu
2	Tandemový stoj, otočka na nepřirozenou stranu s nedominantní nohou vpředu
3	Tandemový stoj, otočka na přirozenou stranu s dominantní nohou vpředu
4	Tandemový stoj, otočka na nepřirozenou stranu s dominantní nohou vpředu
5	Surfový postoj s chodidly kolmo na slackline
Fáze 4 – pokročilí: dřepy	
1	Dřep v surfovém postoji s chodidly kolmo na slackline
2	Dřep v tandemovém stoji s dominantní nohou vzadu
3	Dřep v tandemovém stoji s dominantní nohou vpředu
4	Dřep na jedné noze – dominantní
5	Dřep na jedné noze – nedominantní
Fáze 5 – extrém	Bez použití paží, bez zrakové kontroly, vertikální houpání
Fáze 6 – triky: skoky a salta	Zvedání pat, chůze ve výponu, skoky, rotace, salta s dopadem na zem nebo na slackline.
	Zaměření na externí podnět (házení míče, žonglování)
	Surfování (na velmi povoleném slackline) s oscilacemi v bočním postavení

(Gabel & Mendoza, 2013)

2.1.5 Využití slackline

Mimo primární a zřejmý účel chůze na slackline jako samostatného sportu existuje spousta dalších možností uplatnění, zde jsou ty nejzásadnější.

Tréninkový prostředek, volnočasová aktivita

Slackline se čím dál častěji používá v různých sportovních odvětvích jako tréninkový prostředek pro zlepšení rovnovážných a silových schopností (Fernández-Rio et al., 2019; Peterson, 2017). Významný je také kreativní aspekt tohoto sportu, jeho již tradiční využití při různých vystoupeních a zábavných show. Slackline může posloužit k funkčnímu obohacení veřejných prostor ve městech, kde poslouží jako prostředek ke sportu a zábavě pro děti i dospělé, a divácky atraktivní může být i pro kolemjdoucí. V některých městech (např. Vídeň, Berlín, Hamburg, Regensburg, Innsbruck), se objevují i tzv. slackline parky, místa, kde jsou předpřipravené kotvící body pro slackliny nebo i veřejné, již napnuté slackliny (ISA, 2019). V posledních letech můžeme pozorovat velký nárůst výskytu slackline jako sportu a volnočasové aktivity v městských parcích i mimo města. Slackline má své uplatnění i v tréninku elitních sportovců v různých sportovních odvětvích (Granacher, Iten, Roth & Gollhofer, 2010).

Fyzioterapie, rehabilitace, rekonvalescence, rekondice

Slackline se v posledních letech přirozeně vmísila do terapie jako prostředek prevence zranění, prerrehabilitace před chirurgickým zásahem do pohybového aparátu i rehabilitace. Pomáhá v rekonvalescenci po zranění nebo operaci a je účinným nástrojem v rekondici sportovců (Lowe, 2021). Více popsáno v samostatné kapitole 2.1.7.

Uplatnění ve školách nejen v hodinách tělesné výchovy

Oblíbenost slackline narůstá také na školách (ISA, 2019), kde nachází využití v hodinách tělesné výchovy a jako přestávková i poškolní aktivita. Dobře zorganizovaná hodina s použitím slackline může velmi účinně rozvíjet schopnosti a dovednosti dětí, mohou se zapojit všichni a časový prostor krátké vyučovací hodiny, za předpokladu instalace více slackline, lze efektivně vyplnit. Důležitá přitom je kreativita a schopnost učitele najít alternativní způsoby, jak slackline využít. Různé způsoby využití, a také návod, jak slackline nainstalovat nejen v outdoorovém prostředí, ale i v prostoru školní tělocvičny, předkládají Šinkovský a Dušková (2013).

Slackline učí děti fundamentálním dovednostem statické a dynamické rovnováhy, které jsou klíčovými dovednostmi v množství nejrůznějších sportovních činností. Dále tato aktivita posiluje břišní svaly a hluboký stabilizační systém, zlepšuje stabilitu velkých kloubů a mezisvalovou koordinaci (Curtis & Braga, 2018).

Slackline trénink zlepšuje funkci vestibulárního systému a schopnost orientace v prostoru, přínosy jsou jasně patrné po čtyřtýdenním tréninku (Dordevic et al., 2017), což je zvláště důležité u dětí mladšího školního věku, které procházejí senzitivním obdobím, často nazývaným „zlatý věk motorického učení“. Jedná se o období rychlého koordinačního rozvoje, kdy se koordinace zdokonaluje v hrubé i jemné motorice (Kohoutek et al., 2005).

Chůze na slackline vyvolává měřitelné zlepšení kognitivních funkcí a fyziologické změny v mozku, což indikuje možnost zlepšení schopnosti soustředění a zvýšenou pozornost. Trénink chůze na slackline zlepšuje soustředění a pozornost školních dětí (Rodenkirch, 2012) a má pozitivní účinek na paměť a učení (Hüfner et al, 2011). Z tohoto důvodu je použití slackline ve školní tělesné výchově a o přestávkách během školního vyučování více než vhodné.

2.1.7 Zdravotní aspekty chůze na slackline, prevence zranění a civilizačních nemocí

O cvičení s balančními pomůckami a jeho pozitivním vlivu na různé tělesné funkce dnes existuje velké množství literatury. Nejrůznější balanční pomůcky jsou ve vysoké míře používány v různých sportovních odvětvích, ve fyzioterapii, rehabilitaci, v tréninku dětí, dospělých i seniorů. Příznivé vlivy cvičení na balančních pomůckách nejen na pohybový aparát jsou dokázány mnohými studiemi a popsány v řadě publikací. Nejčastějšími balančními pomůckami, jak je popisuje Jebavý (2014), jsou aquahity (vaky plněné vodou nebo pískem), aerobary, balance step (malé balanční polokoule připevňující se na přední část podrážek bot), balanční kulové úseče, balanční válcové úseče, vzduchové úseče (podložky), mezi které patří i balanční polokoule (tzv. bosu), velké nafukovací míče (gymnastické míče neboli gymbally), malé nafukovací míče (tzv. overbally), malé masážní míče a válce, medicinbaly, závěsné lanové systémy (např. TRX) a další. Zatímco u některých výše zmíněných balančních pomůcek může dojít k dosažení určité úrovně dovedností, kdy další cvičení na nich už nemusí být dostatečně přínosné, v případě použití slackline jako balanční pomůcky si tento stav lze jen stěží představit. Slackline může výborně posloužit jako balanční pomůcka a cvičení na něm je velmi komplexní, zábavné, a poskytuje nevyčerpatelné možnosti ke zlepšení. Na slackline lze účinně posilovat nejen dolní končetiny, ale i střed těla a horní končetiny. Slackline je vhodný k modifikováním

klikům, klikům vzadu, vzporům, podporům, dřepům, výpadům, výponům a dalším cvikům zaměřených na celé tělo, především na jeho střed (Williams, 2020; “The advantages of slackfit”, n.d.). Konvenční (výše vyjmenované) balanční pomůcky používané pro zlepšení rovnovážných schopností a posturální kontroly se od slackline významně liší v pohybu balanční pomůcky. Konvenční balanční pomůcky mají vždy více či méně neměnnou pozici v prostoru, ale vykazují nestabilní vlastnosti. Oproti tomu slackline se volně pohybuje v prostoru v poměrně velkém rozsahu, takže stojná dolní končetina musí potlačovat a vyrovnávat laterální pohyby nohy, aby vyrovnala těžiště těla nad pohyblivým místem opory. Z tohoto důvodu rovnovážný trénink s konvenčními balančními pomůckami převážně aktivuje svaly obklopující hlezenní kloub, zatímco trénink na slackline aktivuje svaly hlezenního kloubu, kolenního kloubu a kyčelního kloubu současně (Keller et al, 2012).

Měření aktivity svalů dolní končetiny při stoji na jedné noze na pohyblivé platformě (mediálně laterální oscilace) ukázalo, že po čtyřtýdenním tréninku chůze na slackline se při stoji na jedné noze významně snížily aktivní korekce pomocí kolenního kloubu. Prokázalo se, že trénink chůze na slackline vede ke zvýšené přípravné aktivaci m. rectus femoris a k lepší stabilitě kolenního kloubu a tím i k lepší posturální stabilitě. Získané výsledky ukazují, jak významně chůze na slackline pomáhá prevenci zranění (Pfusterschmied, Stöggl, Buchecker, Lindinger, Wagner & Müller, 2013).

Gabel (2014) a Gabel, Osborne a Burkett (2015) popisují význam chůze na slackline pro pacienty s inhibovanými m. quadriceps femoris, které je po úrazu nebo po operaci potřeba aktivovat. Gabel et al zde popisují, jak chůze na slackline vyvolává automatickou rekrutaci a aktivaci m. quadriceps femoris, která se dostaví ve větší míře, než by tomu bylo u tradičních balančních cvičení. Další výhodou rehabilitování na slackline je dosažení tíženého efektu rychleji a s výrazně nižším vnímaným úsilím oproti tradičním balančním cvičením. Použití slackline pro aktivaci kvadricepsů a stabilizaci kolenních kloubů prosazuje také Raynor (2019).

Slackline se v terapii používá díky čtyřem unikátním kvalitám – nárokům na organismus (Gabel, 2013; Lowe, 2021). Jsou to (1.) vysoké neuro-mechanické nároky v podobě integrace neurobiologické, biomechanické a senzomotorické složky, které chůze a balancování na slackline obnáší (Paoletti & Mahadevan, 2012). Dále to jsou (2.) vysoké nároky na rovnováhu (MacKinnon & Winter, 1993), (3.) posturální kontrolu (Keller et

al., 2011) a (4.) svalovou silu (Granacher, Iten, Roth & Gollhofer, 2010). Proto je chůze na slackline vhodným rehabilitačním prostředkem pro pacienty s nedostatky v oblasti neuro-mechanické, s poruchou rovnováhy, se sníženou posturální stability a s nedostatečnou svalovou silou, především m. quadriceps femoris, gluteálních svalů a svalů hlubokého stabilizačního systému (Lowe, 2021). Trénink chůze na slackline jako součást rehabilitace se zdá být vhodný zejména pro dobře sebemotivované a samostatné pacienty. Poskytuje spontánní aktivaci, která je selektivně aktivuje m. quadriceps femoris a zároveň a jednoduchá. Těchto účinků je dosaženo za nižší úrovně subjektivně vnímané tělesné zátěže (Gabel, 2014). Ve studii zjišťující, jestli trénink chůze na slackline snižuje riziko pádu u lidí s Parkinsonovou chorobou se zjistilo, že na Borgově škále vnímaného úsilí od 6 do 20 experimentální skupina přiřadila zátěži hodnotu $8,33 \pm 0,36$, což v Borgově škále odpovídá „velmi lehkému vnímanému úsilí“. Analýza lokálně vnímaného úsilí podle Borgovy škály ukázala, že nejvyšší subjektivně pociťovaná zátěž je vnímána v oblasti dolních končetin a v oblasti lumbosakrální. Konkrétně svaly m. gastrocnemius, svaly hamstringové skupiny, m. soleus, m. quadriceps femoris a vzpřimovače páteře v bederní oblasti (Santos, 2017).

Slackline lze využít jako pohyblivou oporu nebo podložku i pro posilování s váhou vlastního těla. Německý výrobce slackline Gibbon Slacklines přišel s konceptem „Slackfit“, který tímto způsobem slackline využívá. Jako hlavní přínosy uvádějí posílení celého těla, zlepšení koordinace a zvýšení sportovní výkonnosti. Při stoji nebo vzporu na slackline dochází k vibracím o frekvenci až 1000 za minutu (platí pouze pro velmi krátké a velmi pevně napnuté slackliny), což významně zvyšuje efektivitu cvičení, aktivuje hluboké svalstvo a zlepšuje stabilitu (“The advantages of slackfit”, n.d.). Skutečnou frekvenci vibrací při stoji na krátké a silně napnuté slackline je třeba ověřit výzkumem pro konkrétní populaci a výkonnostní úroveň. Vycházejí z principu vibračního tréninku nízké frekvence vibrací 5-10 Hz, který je vhodný pro trénink rovnováhy a mobility, a střední frekvence vibrací 10-20 Hz, který je vhodný pro zvýšení výkonu, svalové síly a vytrvalosti (Pozo-Cruz et al, 2011). Např. u frekvence 15 Hz čas mezi dvěma reflexními cykly odpovídá 67 ms (15 oscilací za 1 s, 895 oscilací za 1 min), přičemž průměrný čas (závisí na konkrétním svalu) potřebný pro cyklus fyziologické svalové kontrakce a relaxace je 50 ms. Tento druh tréninku je přínosný především v situacích, kdy je hlavním cílem zlepšit základní funkci svalů – jejich kontrakci a relaxaci, a koordinaci (Novotec Medical GmbH, n.d.). Dalším přínosem cvičení na slackline je trénování

senzomotorických schopností. Gibbon Slacklines v rámci jejich konceptu „Slackfit“ provádí školení trenérů a na svých webových stránkách nabízejí zásobník cviků (“The advantages of slackfit”).

Chůze na slackline má příznivý vliv i na učení a paměť. U profesionálních slacklinerů se ukázalo, že mají objemnější zadní část hipokampusu, která je důležitým centrem učení a paměti, což pravděpodobně souvisí s jejich lepšími výsledky v úlohách neprostorové paměti (transverse patterning test), které jsou závislé na funkci hypokampusu (Hüfner et al, 2011).

2. 2 Rovnováha

Pojem rovnováha (v anglickém jazyce *balance* nebo *equilibrium*, v češtině se často používá synonymum *balanc*) charakterizuje okamžitý stav systému získaný jako výsledný efekt mechanismů *balance* (Shumway-Cook & Woollacott, 2011 podle Bizovské, Janury, Mikové & Svobody, 2017). Schopnost kontrolovat rovnováhu se nazývá *rovnovážná schopnost*. Perič a Dovalil (2010) navíc dávají termín *balanc/balancování* do spojitosti s nestabilní podložkou, popisují to následovně: „*Specifickou podobou rovnováhy je tzv. balancování, které souvisí s udržením těla či předmětu na nestabilní podložce.*“. Termín *balanc* se v kontextu tělesné výchovy definuje jako *schopnost udržování rovnováhy* během statické polohy nebo pohybu. Je to dovednostní komponent fyzického fitness, který se týká vykonávání pohybu (Cappa, Di Rosa & Patané, 2005). Gabel et al (2013) *balanc* vysvětluje jednoduše jako „*udržování těžiště nad místem opory*“. Dobrá úroveň rovnovážné schopnosti je důležitá pro prevenci pádů a úrazů, jak ukazuje např. studie se souborem 210 středoškolských hráčů basketbalu, kde mladí sportovci s nízkou úrovní rovnovážné schopnosti utrpěli téměř 7x více podvrtnutí kotníků než sportovci s dobrou úrovní rovnovážné schopnosti (McGuine, Greene, Best & Leverson, 2000). Při záměrném tréninku konkrétních schopností je žádané znát, jak dlouho je možné si nabytou schopnost uchovat, aniž by se musela pravidelně a intenzivně trénovat. U dynamické rovnováhy bylo zjištěno, že po 5-7 týdnu dlouhém tréninku (průměrně 3,2x týdně po dobu 15 minut) je nově nabytá úroveň dynamické rovnováhy uchována v plném rozsahu i po 12 měsících od ukončení pravidelného tréninku. Výzkum byl proveden na 35 mladých házenkářkách elitní divize,

68 % z nich v průběhu roku nadále trénovalo pouze 1x týdně 15 minut, zbytek netrénoval vůbec (Holm et al, 2004).

„**Posturální stabilizace** (ve významu anglického *balance*) je funkční komplexní motorická schopnost, která je vztahována k procesům tzv. posturální kontroly.“ píše Bizovská, Janura, Miková a Svoboda, (2017, s. 26) a následně vysvětlují termín **posturální kontrola** (v anglickém jazyce často používaný termín *postural control*) jako neurální mechanismy, které zajišťují udržení polohy a umožňují provádění účelných pohybů v gravitačním poli.

Postura podle Jebavého (2014) je zaujatá poloha těla i jeho částí v klidu (před pohybem a po jeho ukončení). Vařeka (2002) definuje **posturální stabilitu** následovně: „Posturální stabilita je schopnost zajistit vzpřímené držení těla a reagovat na změny zevních a vnitřních sil tak, aby nedošlo k nezamýšlenému a/nebo neřízenému pádu.“ Pojmy rovnováha a balanc vnímá jako synonyma a píše o nich, že: „Označují soubor statických a dynamických strategií k zajištění posturálních strategií“.

Výše uvedené termíny (rovnováha, balanc, rovnovážná schopnost a posturální stabilita) se často používají jako synonyma a společně označují schopnost navracet a udržovat těžiště těla nad místem opory (v jeho těžnici). Rovnovážný stav je takový stav, kdy se všechny na těleso nebo člověka působící síly vyruší, vzájemně vyrovnají (Khadir et al, 2021). Schopnost rovnováhy se řadí mezi koordinační schopnosti a je důležitá pro udržování těla v určitých polohách (Perič & Dovalil, 2010).

Jak už bylo popsáno výše, slackline obnáší stoj nebo pohyb, nejčastěji chůzi, na textilním popruhu napnutém mezi dvěma kotvicími body (Balcom, 2005; Gabel & Mendoza, 2013). Hlavním problémem a rozhodující schopností při chůzi na slackline je udržování rovnováhy (Balcom, 2005). Výkon v této pohybové činnosti je ovlivněn **senzorickou integrací** s reakcí neuromuskulárního systému, **udržováním rovnováhy**, **posturální kontrolou** a **svalovou silou** (Gabel & Mendoza, 2013).

Chůze na slackline není příliš náročná na silové, rychlostní ani vytrvalostní schopnosti (v případě přechodu stovky metrů dlouhých slackline jistě i vytrvalostní schopnosti hrají velkou roli). Pohyblivost je důležitá pro provádění některých figur v disciplíně zvané trickline, pro samotnou chůzi ale také není příliš významná. Rozhodující roli při chůzi na slackline hrají koordinační schopnosti. Perič a Dovalil (2010, str. 116) popsali koordinační schopnosti následovně: „*Koordinaci charakterizují nároky na rychlost a*

přesnost pohybu, na přizpůsobení se vnějším podmínkám, na vytvoření nového pohybu. Jejím základem je činnost centrální nervové soustavy (CNS), která řídí a organizuje množství oblastí důležitých pro konkrétní pohyb.“ Dále píší: „Koordinaci chápeme jako vnitřní řízení pohybu – souhru CNS a nervosvalového aparátu.“ Mezi tyto oblasti patří činnost analyzátorů, činnost jednotlivých funkčních systémů, nervosvalová koordinace a psychologické procesy (Perič & Dovalil, 2010).

Jebavý (2014) označuje vztah koordinace a silových schopností za velmi důležitý. Koordinace na nervosvalové úrovni se projevuje jako intramuskulární koordinace a intermuskulární koordinace. První z dvojice, intramuskulární koordinace, také nazývaná vnitrosvalovou koordinací, představuje schopnost jednotlivých svalových vláken uvnitř jednoho svalu se aktivovat v případě svalové kontrakce. Tato koordinace přímo ovlivňuje úroveň silových schopností. Druhá z dvojice, intermuskulární koordinace, také zvaná koordinací mezisvalovou, představuje spolupráci více svalů, které společně vykonávají určitý pohyb. Vysoká úroveň této koordinace zajišťuje plynulý a harmonicky působící pohyb. Jednotlivé svaly se kontrahují a uvolňují v souhře, což pomáhá pohybové ekonomičnosti a přesnosti. Při chůzi na slackline se můžou intermuskulární i intramuskulární koordinace, v případě jejich vysoké úrovně, pozitivně projevit.

2.2.1 Rovnováha bipedálního vzpřímeného stoje

Základní motorickou složkou chůze na slackline je stoj, jehož důkladné osvojení je zásadní pro zvládnutí veškeré další techniky (Balcom, 2005). U člověka mluvíme o bipedálním vzpřímeném stoji. Vzpřímený stoj už ve své nejobyčejnější podobě a běžných podmínkách na rovné podložce představuje velmi složitý úkol pro rovnovážný systém (Soest et al, 2003). Bipedální stoj je referenční posturou člověka a jako takovou ji využíváme pro zvládnutí většiny denních činností (Bizovská, Janura, Miková & Svoboda, 2017).

Už samotná poloha bipedálního vzpřímeného stoje u člověka se musí vypořádat s nelehkým problémem velké masy horní části těla vysoko nad malou plochou opory – chodidly (Alexandrov, Frolov, Horak, Carlson-Kuhta & Park, 2005). Tato poloha je často přirovnávána k obrácenému kyvadlu (Soest et al, 2003; Peterka, 2002).

Existují dva způsoby, jak centrální nervová soustava zajišťuje rovnováhu bipedálního vzpřímeného stoje. Peterka (2002) píše, že lidský vzpřímený stoj je dosahován zpětnovazebným mechanismem, který vyvolává opravné svalové kontrakce jako automatické reakce na narušení rovnováhy (compensatory postural control (CPC) – reaktivní posturální kontrola). Stabilní vzpřímený stoj může být dosažen jedině s využitím zpětnovazebných mechanismů, které vyvolávají korektivní síly na základě vícero senzorických vstupů (Paoletti & Mahadevan, 2012). Především novější studie ukazují na dvojitý mechanismus udržování rovnováhy – anticipatory postural adjustments (APA) a compensatory postural adjustments (CPA). APA jsou spojovány se synergickou aktivací posturálních svalů a s oddělenými samostatnými pohyby, ke kterým dochází bezprostředně před očekávaným narušením rovnováhy (Scariot et al, 2016). APA se uplatňují v případě plánovaného pohybového úkolu, který je očekávaný a na který se tedy můžeme připravit. Například při zvedání předmětů, které svou hmotností posunou těžiště těla (soustavy těla a předmětu). APA se uplatňují také v případě, kdy očekáváme působení vnější síly (když vidíme, že do nás v příštím okamžiku někdo vrazí, zapřeme se chodidly a upravíme pozici těžiště) nebo při plánovaném vyvinutí síly vůči cizímu tělesu (před úderem do boxovacího pytle musíme vychýlit těžiště našeho těla směrem k pytli, jinak bychom spadli dozadu). APA jsou rovněž důležité pro chůzi na slackline (Schärli et al, 2013). Např. pro provedení kroku, především dobře kontrolovaného a pomalého je nutné se kompenzačně zaklonit za účelem udržení těžiště těla nad místem opory - vyrovnání zdvižené nohy. Do jaké míry lze anticipovat výkyvy slackline není jasné. Nicméně lze předpokládat, že po provedení korektivních pohybů pro obnovení rovnováhy po vychýlení těžiště do jedné strany, můžeme anticipovat vychýlení těžiště do druhé strany a tak i potřebu provedení dalších korektivních pohybů. Chůze po slackline obnáší neustálé provádění korektivních pohybů, což vede ke zvýšenému svalovému napětí v oblasti trupu a dolních končetin. Tento tonus by mohl být považován za projev anticipační posturální kontroly. Trénink chůze na slackline vede ke zmírnění korektivních pohybů v kolenním kloubu pravděpodobně v důsledku zvýšené stabilizace kolenního kloubu, ke které došlo vlivem tréninku chůze na slackline (Pfusterschmied, 2013).

Scariot et al (2016) ve svém výzkumu analyzovali vliv balančních cvičení na APA a CPA za různých podmínek posturální stability. Zjišťovali využití APA a CPA při chytání medicinbalu ve stoji na různých podložkách. Jako referenční podložka byla použita zem, jako nestabilní podložky malá trampolína a měkká pěnová poduška. Pomocí

elektromyografie měřili aktivitu svalů v časových intervalech typických pro APA a CPA. Výsledky ukázaly, že centrální nervová soustava změnila APA a CPA určitých svalů podle povahy posturální nestability na různých podložkách. CNS má tedy schopnost přizpůsobit APA a CPA podle potřeby vzhledem k podložce, na které stojíme.

Peterka (2002) uvádí, že pro udržení vzpřímeného postoje je nutné vyrovnat destabilizační síly, především sílu gravitační, korektivními silami vyvinutými chodidly proti podložce. Toto tvrzení je v případě stoje na slackline platné jen částečně, protože slackline není pevnou podložkou. Při stoji nebo chůzi na slackline, labilní podložce, je nutné zapojit další části těla, která pohybem v prostoru neustále upravují polohu těžiště těla tak, aby jej udrželi nad místem opory.

2.2.2 Systémy zajišťující rovnováhu

Udržování rovnováhy na slackline, stejně jako jakékoli jiné rovnovážné úkoly, klade obrovské nároky na systémy, které rovnováhy zajišťují. Vnímání při pohybovém jednání zabezpečují smyslové orgány (analýzátory zrakový, sluchový, vestibulární, pohybový a hmatový), které přenášejí informace o okolí i o vnitřním stavu organismu do sensorických center v mozku. Tam se tyto informace zpracovávají a vytváří se představa o konkrétní situaci (Dovalil et al, 2009).

Rovnovážná schopnost vyžaduje vysokou úroveň činnosti vestibulárního analyzátoru dohromady s orientačními schopnostmi. Orientační schopnosti se pak odvíjí zejména od funkcí dalších analyzátorů, jako jsou zrakové, sluchové, kinestetické a taktilní (Perič & Dovalil, 2010). Stav, který nastane, když se rovnovážná schopnost úspěšně uplatní, nazýváme stabilitou. Udržování stability v nestabilních podmínkách se řadí mezi základní pohybové dovednosti (Jebavý, 2014).

Už z podstaty sportu chůze na slackline je zřejmé, že rozhodujícími schopnostmi pro výkon v chůzi na slackline jsou schopnosti koordinační. Úroveň rovnovážných schopností je zdaleka nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím výkon v tomto sportu. Odborná literatura shodně poukazuje na vysokou míru specifčnosti rovnovážných schopností (Ringhof & Stein, 2018; Zech et al, 2018). Rovnováha získaná při chůzi na slackline se jen minimálně transferuje do jiných aktivit a naopak (Ringhof & Stein, 2018; Ringhof et al, 2019, Donath et al, 2013). Trénink chůze na slackline má velmi vysoký,

avšak úkolově specifický efekt na koordinační a především rovnovážné schopnosti (Giboin, Gruber & Kramer, 2018; Ringhof et al, 2019; Donath et al, 2013, 2017; Keller, Pfusterschmied, Buchecker, Müller & Taube, 2012; Volery et al, 2017). Ovšem existují studie, které významný vliv chůze na slackline na rovnovážné schopnosti neprokázaly (Granacher, Iten, Roth & Gollhofer, 2010). Bylo však prokázáno, že chůze na slackline účinně posiluje a stabilizuje klouby dolních končetin, což může pozitivně ovlivnit rovnovážné schopnosti v jiných aktivitách, akcelarovat jejich osvojení a pomoci prevenci úrazu (Pfusterschmied, Stöggel, Buchecker, Lindinger, Wagner & Müller, 2013).

Uvědomování si polohy těla v prostoru (nutné pro udržování rovnováhy) je dosahováno sjednocováním (integrací) informací z **vizuálního systému, vestibulárního systému a somatosenzorického systému**. CNS z těchto tří systémů dostává zpětnou vazbu, integruje ji a následně generuje korektivní a stabilizační síly pomocí selektivní aktivace různých svalů. Za normálních podmínek udržování rovnováhy u zdravých lidí na pevném povrchu závisí ze 70 % na somatosenzorickém systému, z 20 % na vestibulárním systému a z 10 % na vizuálním systému. Situace se mění na nestabilním povrchu, kdy se na udržování rovnováhy podílí vestibulární systém ze 70%, vizuální systém z 20 % a somatosenzorický systém pouze z 10 % (Peterka 2002). Labilní podložka neposkytuje dostatečnou oporu pro správné fungování propriocepce v hlezenních a kolenních kloubech. To je případ slackline, který pro své vlastnosti měkkého popruhu pohybujícího se všemi směry, neklade žádný odpor pronaci a supinaci hlezenních kloubů, což má za následek omezení potenciálu somatosenzorického systému na minimum. Zbylé rovnovážné systémy tento výpadek musejí kompenzovat. O strategiích rovnovážného systému a posturální kontroly během dynamických úkolů, jako je například chůze na labilní podložce (kam patří i chůze na slackline) se toho ví málo (Chien et al, 2014).

Chůze na slackline klade extrémní nároky na rovnovážný systém (Balcom, 2005) a vyžaduje velmi rychlé reakce na nečekané výkyvy, změny přicházející z vnějšího prostředí. Nejkratší časovou odezvu z výše uvedených systémů zajišťujících rovnováhu mají proprioceptivní informace, které spadají pod somatosenzorický systém. Hwang et al (2014) píše, že monosynaptické dráhy (propriocepční reflex, zahrnuje 2 neurony a 1 synapsi) zpracovávají informace během 40 - 50 ms. Oproti tomu nejpomalejším rovnovážným systémem je zrak, informace z něj pocházející se zpracovávají 150 - 200 ms. Zpracovávání informací z vestibulárního systému je někde uprostřed.

2.2.2.1 Somatosenzorický systém

Somatosenzorický systém se na udržování rovnováhy na nestabilním povrchu, jako je slackline, uplatňuje sice nejnižším podílem, ale pro řízení posturální stability je nepostradatelný.

Základem somatosenzorického systému je síť receptorů nepravidelně rozmístěných po celém těle. Tento systém se rozděluje na dva podsystemy, na systém hluboké senzitivity, kam patří **propriocepce** a interocepce, a na systém povrchové senzitivity, která zajišťuje **kožní čítí**. Pro rovnovážné schopnosti je z celého senzomotorického systému zásadní propriocepce (Merkunová & Orel, 2008).

Propriocepce, také nazývaná kinestézií, je schopnost těla vnímat vlastní polohu, pohyb a změny ve svalech, šlachách, kloubech a kůži. Dává lidskému tělu schopnost pohybovat se bez vědomého přemýšlení o okolí. Jedná se o nepřetržitou smyčku zpětných vazeb mezi senzory z celého těla a nervovým systémem (Longhurst, 2019). Vnímání polohy těla se označuje jako statická propriocepce, vnímání pohybu celého těla i jeho částí jako dynamická propriocepce. Skládá se ze tří hlavních komponent: **svalové, šlachové a kloubní**.

První z nich, komponenta **svalová**, sestává z čidel zvaných **svalová vřeténka**, která podávají informace o změnách délky svalů. Svalová vřeténka se skládají z vazivového pouzdra a intrafuzálních vláken, což jsou modifikovaná svalová vlákna vedoucí paralelně s extrafuzálními svalovými vlákny (pracovní svalová vlákna), na která jsou na obou koncích vazivově napojena. Intrafuzální vlákna mají ve své centrální části místo kontraktálního aparátu vlákna senzitivních neuronů, která jsou obalena vazivovým pouzdem. Prodloužení extrafuzálních vláken způsobí protažení centrální receptorové oblasti intrafuzálních vláken, což je podnět pro podráždění svalových vřetének a vznik generátorového (receptorového) potenciálu (vzruch, který je vyvolán podnětem podprahové úrovně a nešíří se z místa svého vzniku). Ten v případě dostatečné intenzity vyvolá akční potenciály (vzruch, který je vyvolán podnětem prahové nebo nadprahové úrovně a šíří se dál z místa svého vzniku) senzitivních (smyslových) neuronů. Svalová vřeténka tak vysílají signály do příslušných míšních segmentů nebo dále do CNS. Z α -motoneuronů vedoucí motorická vlákna pak vyvolají kontrakci svalu, jako prostředek prevence před úrazem. Svalová vřeténka zajišťují napínací reflex, který vyvolá svalovou kontrakci v případě rychlého prodloužení svalu (Merkunová & Orel, 2008). Vřeténka se podílí také na stabilizaci polohy při motorických aktivitách, kdy dochází k jejich zvýšené

citlivosti u svalového agonisty i antagonisty. Zkrácení vřetének protilehlých svalů vyvolá významnou stabilizaci kloubu v dané poloze (Maďa, 2014). Z tohoto důvodu mají svalová vřeténka velký význam pro udržování rovnováhy a tedy i pro chůzi na slackline.

Keller et al (2012) se domnívají, že napínací reflex může způsobovat typické nekontrolovatelné laterální pohyby slackline a stojné nohy, které můžeme pozorovat především u začátečníků. Napínací reflex podle nich neutralizuje počáteční laterální výkyv nohy, ale pravděpodobně dochází k neúměrně silné vyrovnávací reakci, která má za následek výkyv nohy do druhé strany, což vyvolává další napínací reflex. Tímto způsobem dochází k rychlým oscilacím stojné nohy a slackline (Keller et al, 2012). Pravidelný trénink na slackline v dostatečném rozsahu vede ke zlepšení posturální kontroly, což je doprovázeno částečným potlačením H-reflexu (H-reflex je obdobou napínacího reflexu. Rozdíl spočívá v tom, že zatímco napínací reflex je vyvoláván napínáním svalů, H-reflex je výsledkem elektrické stimulace). K lepší kontrole oscilací dochází vlivem tréninku, pravděpodobně díky presynaptickému mechanismu, kdy je inhibována sekrece neurotransmiterů z presynaptického neuronu na neuron postsynaptický, a tak je snížena vzrušivost příslušných motoneuronů (Keller et al, 2012 podle Gabel & Mendoza, 2013; Fontana et al, 2013). K této neuromuskulární adaptaci dochází jak u chůze na slackline, tak u konvenčních balančních tréninků. Tato reflexní redukce zřejmě slouží k inhibování reflexy vyvolaných kloubních oscilací, které jsou zodpovědné za nekontrolovaný třes dolních končetin, který je typický pro začínající slacklinery (Keller et al. 2012).

Golgiho šlachová tělíska zastupují druhou komponentu propiocepce – šlachovou. Jsou umístěna ve šlachách v blízkosti svalových bříšek. Jsou napojena na extrafuzální vlákna a mají schopnost registrovat svalové napětí (oproti svalovým vřeténkům nedokáží rozpoznat prodloužení svalů). Natažení svaly podráždí senzitivní nervové terminály a vyvolá generátorový potenciál, který při dostatečné intenzitě vyvolá akční potenciál (Merkunová & Orel, 2008). Golgiho šlachová tělíska vyvolávají Golgiho šlachový reflex, který má za úkol ochránit svalstvo, kterému hrozí poškození vysokým napětím. Na rozdíl od napínacího reflexu, tento šlachový reflex přepnuté svaly inhibuje. V momentu spuštění Golgiho reflexu se inhibuje alfa-motoneuron příslušného svaly a ten se relaxuje. Tento reflex také zajišťuje rovnoměrné napětí mezi všemi vlákny daného svaly. V případě přetížení některých svalových vláken uvnitř jednoho svaly Golgiho reflex inhibuje

alfamotoneurony pouze těchto vláken a tím redistribuuje tenzi v rámci tohoto svalu (Maďa, 2014).

Ze třetí proprioceptivní komponenty, kloubní, je vhodné zmínit paciniformní tělíska, která umožňují vnímání pohybů v kloubu (Merkunová & Orel, 2008).

Propriocepce a její mechanoreceptory úzce souvisí s reakční schopností, která umožňuje rychlé zahájení a provádění účelných vyrovnávacích pohybů nutných pro udržení stability na slackline. Vyrovnávací pohyby jsou podněcovány kinestetickými a taktilními analyzátory, které umožňují cítit slackline pod nohama a vnímat jeho pohyb (Balcom, 2005).

2.2.2.2 *Vizuální systém*

Druhým systémem, který se podílí na udržování rovnováhy, je **zrak**. Pomocí zraku člověk vnímá až 90 % informací, které získává z okolního světa, je to tedy pro člověka nejdůležitější smysl (Králíček, 2011, podle WikiSkripta.eu, 2019). Dobrý rovnovážný smysl je závislý na vizuálních informacích o prostředí, ve kterém se nacházíme. Nejdůležitější dovedností zraku pro udržování rovnováhy je binokulární vidění, které představuje schopnost obou očí fungovat ve vzájemné souhře a vytvářet čistý a sjednocený (ve smyslu nezdvojený) obraz okolního prostředí. Každá oční vada může znamenat i rovnovážnou vadu (Vision Professionals, 2020). Studie posturální kontroly se vesměs shodují, že pro rovnováhu vzpřímeného stoje (statickou rovnováhu) je zrak nejdůležitějším rovnovážným systémem. U dynamické rovnováhy jsou ale názory rozdílné, občas protichůdné, což naznačuje, že je zapotřebí více studií, aby tomuto problému bylo porozuměno. Důležitost zraku pro chůzi na slackline potvrzuje výrazně vyšší obtížnost chůze na slackline nad vodní hladinou. Pohyb vodní hladiny a její reflexe neposkytují téměř žádnou vizuální podporu, což negativně ovlivňuje schopnost udržovat rovnováhu. Jediné, čeho se vizuální systém může zachytit (co je pevné, stabilní, nepohyblivé), je konec slackline nebo její kotvící bod na druhé straně.

Zrak zajišťuje primární sensorické informace k udržování rovnováhy. CNS používá statické reference z vnějšího prostředí (zprostředkované zrakem), jako například horizont, stromy, zdi atd., a interpretuje pohyb vzhledem k těmto referencím jako pohyb těla. Tato centrální interpretace vizuálních informací má za následek kompenzační výkyvy (compensatory swaying) těla za účelem obnovení „normální“ vzpřímené polohy

těla vzhledem k referencím z vnějšího prostředí (Stelmach & Worringham, 1985, podle Merla & Spaulding, 1997).

Důležitost zraku pro dynamickou rovnováhu na labilní podložce, která hraje hlavní roli při chůzi na slackline, potvrzují také Tomomitsu et al (2013). V jejich studii porovnávali skupinu účastníků výzkumu s poruchou zraku se skupinou zdravých účastníků v úkolech statické a dynamické rovnováhy. Došli k závěru, že zrak je pro dynamickou rovnováhu, především na labilní podložce, zásadní. Guerraz a Bronstein (2008) uvádějí, že laterální oscilace těla se významně snižuje, když je zrak fixován na malou světelnou diodu (LED – light emitting diode) v zcela zatměném prostředí. A to i při stožení na labilní podložce (pěnový blok). Z toho plyne, že rovnováhu ovlivňuje podoba okolí a že fixace zraku na jeden bod ji může významně zlepšit. V praxi při chůzi na slackline se tento princip uplatňuje fixací zraku na jeden bod, obvykle konec slackline nebo strom, na kterém je ukotvena. Neschopnost dětí udržovat hlavu ve stabilním postavení a s tím spojená neschopnost fixace zraku jsou považovány za limitující faktory při chůzi na slackline (Schärli et al, 2013).

Naopak (oproti závěrům Tomomitsa et al (2013) a Guerraza s Bronsteinem (2008)) malý význam zrakové kontroly pro dynamickou rovnováhu přikládají Reynard a Terrier (2015). Rešeršní literatury dospěli k závěru, že významu zraku v udržování dynamické rovnováhy zatím nebylo porozuměno. V jejich studii se věnovali dynamické stabilitě při chůzi na běžeckém páse bez zrakové kontroly (se zavázanými očima) za optimálních podmínek s odbouraným pocitem strachu z pádu (účastníci studie byli úvazkem jištěni tak, že pád a úraz nebyl možný a zároveň nebyli omezeni v pohybu). Účastníci studie si nejdříve uvykli na chůzi na běžícím páse se zavázanými očima a bezpečnostním úvazkem. Svoji preferovanou rychlost chůze si určili zvláště se zrakovou kontrolou i bez ní. Měřila se dynamická stabilita při chůzi se zrakovou kontrolou a při chůzi se zavázanými očima. Měření se zrakovou kontrolou proběhlo za obou preferovaných rychlostí. Po porovnání výsledků došli k závěru, že když se zajistí podmínky chůze, které odbourají strach z pádu, alternativní smyslové strategie pro kontrolu dynamické rovnováhy jsou adaptovány a zrak je plně kompenzován somatosenzorickým a vestibulárním systémem (Rynard & Terrier, 2015).

2.2.2.3 Vestibulární systém

Vestibulární systém poskytuje informace o poloze hlavy vzhledem ke gravitačnímu poli země a o zrychlení nebo zpomalení pohybu. Upozorňuje CNS na pohyby těla vzhledem k těžnici těla (Merla & Spaulding, 1997). Vestibulární aparát neboli **statokinetické čidlo** obsahuje dvě funkční struktury – statické a kinetické čidlo. **Statické čidlo** se skládá z dvou váčků – utrikulus, který registruje pohyby hlavy po horizontální rovině (pohyby dopředu, dozadu a do stran), a ze sakulus, registrujícího pohyby hlavy nahoru a dolů, tedy ve vertikální rovině. Kinetické čidlo představuje tři polokruhovitě kanálky umístěných v třech na sebe kolmých rovinách. Tyto polokruhovitě kanálky jsou vyplněny endolymfou, jejíž pohyb registrují vláskové smyslové buňky. Při úhlovém zrychlení - rotačních pohybech hlavy, se endolymfa pohybuje v polokruhovitě kanálku, který je v rovině rotace. Kanálky orientované v rovině horizontální rozpoznávají otáčení hlavy doprava a doleva. První vertikálně orientované kanálky rozeznávají pohyb hlavy ve frontální rovině (úklony hlavy do stran), druhé vertikálně umístěné kanálky dávají informace o sagitálních pohybech hlavy (dopředu a dozadu). Těmito mechanismy vestibulární systém zachycuje veškeré pohyby hlavy a díky získávaným informacím zajišťuje stability a rovnováhu těla (Mourek, 2012).

Vestibulární systém reaguje na pohyby hlavy kompenzačními reakcemi nazývanými **vestibulární motorické reflexy**. Impulzy z těchto reflexů putují přímo do **motoneuronů**. Motoneurony vysílají signál přímo do svalů – efektorů, a ty vykonávají pohyb. Takto přímé dráhy jsou pro nervový systém velice neobvyklé. Motorické výstupy (motor outputs) mají ve srovnání se senzorickými výstupy mnohem kratší odezvu, jejich dráhy jsou významně kratší a přímější, vzruchy od cílových efektorů putují velmi rychle a neprocházejí tolika centry nervového systému (Mason, 2017).

Stabilitu těla zajišťuje **vestibulospinální reflex**, který v posturálním systému vyvolává kompenzační reakce. Řízením aktivity příčně pruhované svaloviny udržuje tělo ve vzpřímené poloze a v případě náhlého vyvedení z rovnováhy zabraňuje pádu. Když je hlava ukloněna na jednu stranu, vestibulární aparát je stimulován a aktivuje vestibulární nerv a vestibulární jádra. Impulzy jsou vyslány laterálním a mediálním vestibulospinálním traktem do míchy. Svalová aktivita extenzorů je vyvolána na straně, kam se naklání hlava a aktivita flexorů na straně opačné, případně je reakce vyvolána i v končetinách (Khan & Chang, 2013).

Kompenzační reakcí vizuálního systému je **vestibulookulární reflex**, jehož funkcí je pomocí okohybných svalů stabilizovat oči na zrakový podnět při pohybech hlavy a tím zachovat stabilní obraz na sítnici. Stabilizace očí je dosaženo pomocí kompenzačních pohybů opačného směru, než kterým se pohybuje hlava (Jones et al, 2009).

Dalším vestibulárním motorickým reflexem je **vestibulokolický reflex**, jehož konečným efektozem jsou svaly krční páteře. Tento reflex, stejně jako vestibulookulární reflex, má za cíl stabilizaci hlavy a s ní i stabilizaci zraku. Toho je dosaženo aktivací svalů krční páteře tak, aby se vyrovnal pohyb hlavy zaznamenaný vestibulárním systémem. Tento reflex pomáhá udržet hlavu a krk vzpřímeně a stabilně v centrálním postavení (Herdman, 2000).

Pozzo et al (1990) označují stabilizaci hlavy v prostoru za klíčový determinant pro posturální a dynamickou stabilitu. Hlava je „*přirozenou vztažnou (referenční) soustavou akcií*“, protože její součástí jsou dva ze tří rovnovážných systémů – zrakový a vestibulární, které detekují pohyb těla vzhledem k okolí. To znamená, že poloha a pohyb celého těla jsou určovány vzhledem ke vztažné soustavě, tedy hlavě. Balancování na slackline představuje komplexní rovnovážný úkol, který vyžaduje aktivní koordinaci spousty tělesných segmentů. Hlava zde slouží jako stabilní referenční bod, kde se organizuje dynamická rovnováha (Schärli et al, 2013). Pozzo et al (1990) ve své studii zjistili, že pádům člověka stojícího v úplné tmě systematicky předcházely úhlové výkyvy hlavy z jejího normálního postavení, což potvrzuje výše popsané (Pozzo et al 1990). Toto potvrzuje podstatný význam vestibulárních reflexů pro rovnováhu jako takovou, i pro chůzi na slackline.

2.2.3 Testování rovnovážných schopností

Ringhof a Stein (2018) zkoumali míru specifčnosti různých balančních testů. Testová baterie obsahovala 3 často používané testy dynamické rovnováhy a jeden test statické rovnováhy. Jejich první experimentální skupinu, u které byly očekávány výborné výsledky v rovnovážných testech, tvořily gymnastky. Druhou experimentální skupinu tvořily plavkyně, jejichž sport neklade žádné rovnovážné nároky, a tak se předpokládalo, že za první experimentální skupinou budou značně zaostávat. Test statické rovnováhy (stoj na jedné noze) neukázal žádné statisticky významné rozdíly mezi oběma experimentálními skupinami. Dva testy dynamické rovnováhy neukázaly žádné

statisticky významné rozdíly mezi oběma skupinami. Pouze jeden ze tří testů dynamické rovnováhy, kterým byl doskok na jednu nohu (měřil se čas potřebný k obnovení rovnováhy), ukázal převahu gymnastek nad plavkyněmi. To autoři vysvětlili pravidelnými doskokovými cvičeními, kterých se gymnastkám dostává. Tato studie tedy popírá všeobecně rozšířený pohled na rovnováhu jako na všeobecnou schopnost a dokazuje, že rovnováha je schopností úkolově specifickou.

Serrien et al. (2017) ve svém výzkumu rovněž došel k závěru, že transfer rovnovážných schopností je nízký, z čehož vyplývá, že jejich trénink musí být specifický pro danou činnost. Pomocí umělé neuronové sítě (SOM) vizualizovali a analyzovali rovnovážné strategie účastníků studie při jednoduchém rovnovážném úkolu „plameňák“ a při stožení na slackline před a po 6 týdenní intervenci v podobě slackline tréninků. U účastníků studie došlo k výraznému zlepšení u obou testovaných cviků, avšak u 6 týdnů trénovaného stožení na slackline bylo toto zlepšení třikrát významnější.

Zásadní schopností pro chůzi na slackline je dynamická rovnováha. Spornou otázkou zůstává, jakou mírou se při chůzi nebo statickém stožení (pokud lze považovat za statický) na slackline uplatňuje statická rovnováha. Trojan et al. (2005), jak jej citoval Jebavý (2014) předkládá termín statická rovnováhová schopnost, které se využívá, když je tělo v klidu, nedochází ke změně místa a opora základny je rozsáhlá. O této schopnosti Trojan mluví i v souvislosti s labilní podložkou (jakou může být i slackline). Je možné vydedukovat, že statická rovnováhová schopnost se ve vysoké míře uplatňuje při stožení na slackline, zvláště když se stojí na obou nohách. Oproti tomu dynamická rovnováhová schopnost, tak jak ji popisuje Trojan (2005), se uplatňuje, když dochází ke změnám polohy a místa v prostoru. Na slackline je využívána při chůzi a při provádění dynamických prvků. Charakteristická pro ni je úzká opora základny (např. stoj na jedné noze při chůzi).

2.3 Energetická náročnost rovnovážných cvičení

Energetická náročnost je množství energie, které člověk potřebuje k vykonání fyzické funkce, jako je dýchání, cirkulace krve, zažívání stravy nebo tělesný pohyb. Matarese (1997) energetickou náročnost definuje jako lidskou schopnost provádět vnitřní a vnější práci. Energie je měřena v kaloriích (cal) a joulech (J) a celkový denní energetická

náročnost (total daily energy expenditure - TDEE) představuje počet kalorií nebo joulů spálených během jednoho dne. 1000 cal se označuje za kilokalorii (kcal) a 1 kcal představuje množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg vody o 1 °C (Scott, 2020). V současnosti se, především v akademických kruzích, používají jednotky jouly mnohem častěji než kalorie (v USA stále převládají kalorie). Vztah mezi kaloriemi a jouly je následovný: 1 cal = 4,185 J (1 kcal = 4,185 kJ). Protože 1 J je velmi malé množství energie, v praxi se často používají její tisícinásobky, které se nazývají kilojoul, megajoul, gigajoul a terajoul. Ve fyziologii člověka, sportovních a příbuzných oborech je nejpoužívanější jednotkou 1 kJ (1 kilojoul, tedy 1000 joulů).

Za plně aerobního energetického hrazení je poměrně snadné změřit dodávky energie pro svalovou činnost, díky znalosti energetického ekvivalentu 1 ml kyslíku, který je při oxidaci metabolitů kolem 20-21 J (5 cal) (Máček a Radvanský, 2011).

Chůzi na slackline se dosud věnovalo jen malé množství prací, které byly většinou zaměřené na koordinaci, rovnováhu, posturální stabilitu, sílu středu těla a hlubokého stabilizačního systému, případně sílu a stabilitu dolních končetin (Gabel, 2013, 2014, 2015; Fernández-Rio et al, 2019; Lowe, 2021; Raynor, 2019).

2.3.1 Energetické zajištění pohybových aktivit

Energie je v organismu uložena ve formě chemických vazeb makroergních (vysokoenergetických) sloučenin. Jejich štěpením se uvolňuje chemická energie a ve svalu se přeměňuje na energii mechanickou pro svalovou kontrakci, tepelnou pro regulaci tělesné teploty a elektrickou pro mozek a nervovou aktivitu (Matarese, 1997; Kosečková, 2018). Mezi makroergní sloučeniny patří tzv. makroergní fosfáty, zejména adenosintrifosfátu (ATP), adenosindifosfát (ADP) a kreatinfosfát (CP). Lidské tělo získává energii pro výkon pohybové činnosti rozkladem těchto makroergních fosfátových vazeb, především ATP, tomuto procesu se říká hydrolýza (zapotřebí je molekula vody). Hydrolýza je proces, při kterém se ATP za přítomnosti vody rozkládá na ADP (adenosindifosfát) a samostatný fosfát. Při tomto procesu se uvolňuje energie. Zásoby ATP jsou velmi malé, pouze několik desítek gramů, což představuje energii 21 – 33 kJ. Při činnosti vysoké intenzity tyto zásoby vystačí pouze na několik sekund. ATP se však resyntetizuje velmi rychle. K doplňování ATP existují tři biologické energetické systémy,

kteře probíhají ve svalových buňkách a využívají makroergní substráty – sacharidy, tuky a částečně i proteiny, látky převážně strukturního charakteru (Zahradník & Korvas, 2012).

Prvním energetickým systémem je **systém fosfagenový** který probíhá anaerobně v sarkoplazmě svalových buněk (ve sportovním tréninku často nazývaný ATP-CP systém). Tento systém, který generuje energii pomocí hydrolyzy ATP a rozkladu CP, je zásadní pro energetické hrazení v prvních 10 – 15 sekundách (5 – 15 sekund podle Bartůňkové (2014)) na začátku pohybové činnosti, a tak zjišťuje krátkodobé aktivity maximální intenzity (Perič & Dovalil, 2010; Dovalil & Choutka, 2009).

Druhým energetickým systémem je **glykolýza**. Její první fáze, nazývaná **rychlá glykolýza**, probíhá v sarkoplazmě svalových buněk a hraje hlavní roli při činnostech vysoké intenzity. V anaerobním procesu se bez potřeby kyslíku využívají sacharidy a svalový glykogen pro tvorbu ATP. Konečný produkt rychlé glykolýzy je pyruvát, který je dále přeměňován na kyselinu mléčnou (Zahradník & Korvas, 2012; Dovalil & Choutka, 2009). Tento systém se primárně zapojuje od 2 do 3 minut intenzivní pohybové činnosti (Perič & Dovalil, 2010), podle Bartůňkové (2014) od 45 do 90 sekund u činnosti submaximální intenzity. Druhou fází glykolýzy je **pomalá glykolýza**. I ta využívá sacharidy pro tvorbu ATP, ale na rozdíl od rychlé glykolýzy se uplatňuje především při činnostech střední a mírné intenzity. Dostatečné množství kyslíku je zde podmínkou. Pyruvát, konečný produkt, se na rozdíl od rychlé glykolýzy nekonvertuje na kyselinu mléčnou, ale transportuje se do mitochondrií, kde vstupuje do Krebsova cyklu (Zahradník & Korvas, 2012).

Třetím energetickým systémem je **oxidativní systém** neboli aerobní systém, který na začátku pohybové činnosti pro tvorbu ATP využívá jako substrát sacharidy a po přibližně 12. minutě práce převážně tuky (Perič & Dovalil, 2010). Uplatňuje se především při činnostech mírné intenzity, probíhá v mitochondriích svalových buněk a vyžaduje dostatečný přísun kyslíku (Zahradník & Korvas, 2012). Více o tomto systému v další kapitole.

Jakou mírou se tyto tři energetické systémy podílí na tvorbě ATP, závisí především na intenzitě svalové aktivity, druhotně na délce jejího trvání. Tyto tři systémy se na produkci energie vždy uplatňují současně, intenzita a doba trvání ovlivňují pouze poměr, kterým se na tvorbě energie podílejí. Činnost maximální intenzity je možné udržet jen po dobu několika sekund, pak se vyčerpají zásoby ATP, které se nestíhají obnovovat, a intenzita

činnosti zákonitě klesá. Po třetí minutě výkonu pohybové činnosti se na energetickém hrazení primárně podílí oxidativní systém (Zahradník & Korvas, 2012; Perič & Dovalil, 2010), jak je vidět v tabulce 2. Tyto energetické systémy se liší v metabolickém obratu - v rychlosti uvolňování ATP. Fosfagenový (neboli fosfátový) systém dokáže uvolňovat 4,0 – 4,5 mol·min⁻¹ ATP. Laktátový anaerobní systém 2,0 – 2,5 mol·min⁻¹ a oxidativní (aerobní) systém je nejpomalejší, uvolňuje 1,0 – 1,5 mol·min⁻¹. Tabulka 2 znázorňuje převládající energetické systémy za různé délky trvání a intenzity.

Tabulka 2

Vliv délky trvání a intenzity pohybové činnosti na zapojení energetických systémů

Délka trvání činnosti	Intenzita činnosti	Primární energetický systém (systémy)
0-6 sekund	Extrémně velká	Fosfagenový
6-30 sekund	Velmi velká	Fosfagenový a rychlá glykolýza
30 sekund až 2 minuty	Velká	Rychlá glykolýza
2-3 minuty	Sřední	Rychlá glykolýza a oxidační systém
>3 minuty	Malá	Oxidační systém

(Zahradník & Korvas, 2012).

Čím vyšší je intenzita pohybové činnosti, tím více kyslíku svaly potřebují, aby v nich mohly probíhat oxidativní procesy štěpení a resyntézy ATP. Tato potřeba vyvolává zvýšení dechové a srdeční frekvence (Zahradník & Korvas, 2012). Zvýší-li se intenzita pohybové činnosti na takovou úroveň, kdy organismus nestačí zásobovat svaly potřebným množstvím kyslíku, začnou se aktivovat anaerobní procesy. Zvýšená potřeba energie je zajišťována procesy resyntézy ATP z CP a anaerobní glykolýzou (Bartůňková, 2014).

2.3.1.1 Oxidativní systém

Chůze na slackline je pohybovou činností, kterou lze vykonávat dlouhodobě. Energeticky ji zajišťuje především oxidativní systém (O₂ systém). Jako substrát zde fungují sacharidy a tuky. Podle Periče a Dovalila (2010) se v oxidativním systému glykogen (sloučenina molekul glukózy) štěpí již od začátku pohybové aktivity a lipidy se začínají štěpit po přibližně 12 minutách aktivity. Zásoby glykogenu v lidském těle podle vystačí přibližně na 1 hodinu práce (Dovalil a Choutka (2009) udávají 2 – 4 hodiny sportovní činnosti). Tuky, oproti glykogenu, vystačí, podle jejich množství v těle, na mnohem déle, teoreticky

na nekonečně dlouho. Oxidativní systém generuje obrovské množství energie, uvolňuje ji ale pomalu (Dovalil & Choutka, 2009).

Sacharidy v podobě glykogenu jsou metabolizovány na jednoduché monosacharidy, především glukózu. Ta vstupuje do aerobního (i anaerobního) systému a je přímo využívána pro svalovou činnost, funkci mozku či jiné pochody v lidském těle. Nadbytečná glukóza se syntetizuje v procesu zvaném glykogeneze v glykogen, který se skladuje ve svalech a játrech. Při poklesu množství glukózy v krvi se glykogen štěpí v procesu zvaném glykogenolýza, jejímž produktem je glukóza-1-fosfát, který se převádí na glukóza-6-fosfát a následně je upraven na volnou glukózu, ihned využitelnou jako zdroj energie. Lipidy jsou v energetickém hrazení oxidativním systémem štěpeny na volné mastné kyseliny a glycerol. Mastné kyseliny oxidují v procesu zvaném beta-oxidace na kyselinu acetoctovou a následně acetylkoenzym A, který v mitochondriích svalových vláken vstupuje do krebsova cyklu (Havličková, 2006, podle Bartůňkové, 2013). V krebsově cyklu vstupuje do elektronového transportního řetězce (dýchací řetězec), kde jsou použity k resyntéze ATP z ADP. Tento proces se nazývá oxidativní fosforylace (Bernacíková, 2012; Zahradník & Korvas, 2012).

2.3.2 Energetická náročnost vzpřímeného stoje a chůze

Překvapivě malé rozdíly v energetické náročnosti byly zjištěny mezi vzpřímeným stojem, chůzí a odpočinkovou polohou v lehu na zádech. Podle Abitbola (1988) bipedální vzpřímený stoj, ve srovnání s polohou v lehu na zádech, představuje o 7 % vyšší relativní spotřebu kyslíků – VO_2 (o 7 % více O_2 v mililitrech na kilogram tělesné hmotnosti za minutu), o 36 % rychlejší dechovou frekvenci a o 10 % zvýšenou srdeční frekvenci. Bipedální lokomoce (chůze o rychlosti $3,22 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) oproti poloze lehu na zádech zvýšila spotřebu kyslíků o 104 %, dechovou frekvenci o 171 % a tepovou frekvenci srdce zvýšila o 31 %.

Ve výzkumu energetické náročnosti stoje za různých podmínek u osob po infarktu se zjistil vysoký nárůst spotřeby energie při poruchách rovnováhy, ale ztížené rovnovážné podmínky v různých testech referenční skupinu pacientů po infarktu významně neodlišovaly od kontrolní skupiny zdravých lidí. Energetická náročnost stoje ve všech testech (za normálních podmínek, se zavazanýma očima, na měkkém pěnovém bloku a s chodidly v těsném spojení) byla průměrně vyšší o 125 % u pacientů po infarktu než u

zdravých z kontrolní skupiny. Významný rozdíl v energetickém nárůstu mezi stojem na pevné podložce a stojí za ztížených podmínek se mezi skupinami neprokázal (u obou skupin byl přibližně stejný nárůst energetického výdeje u všech testů, byla pozorována pouze tendence k vyššímu nárůstu u referenční skupiny). Autoři studie zjistili, že při stojí na měkkém pěnovém bloku o rozměrech 43 x 43 x 12,5 cm (labilní podložka) se energetická náročnost zvýší o 52 % (platí pro kontrolní i referenční skupinu) oproti stojí na pevné podložce (Houdijk et al, 2010).

Wezenberg et al (2011) zjišťovali, jaký vliv na energetickou náročnost chůze bude mít předdefinování krokového vzorce. Počáteční úvahou této práce bylo, že energetická náročnost chůze se odvíjí od energetické náročnosti samotné lokomoce a energetické náročnosti kontroly rovnováhy (Wezenberg et al, 2011). Účastníci studie měli za úkol chodit tak, že došlapovali do na běžecký pás projektovaných obdelníků, které byly seřazeny podle předchozího, referenčního měření každého účastníka studie. Tím se zachoval pohyb jejich chůze a narušila jejich rovnováha. Při prvním měření se projektoval vlastní krok komfortní délky i šíře každého účastníka studie, který byl dříve zjištěn. V tomto měření byly projektované kroky bez jakékoli variability, jednalo se tedy o nekonečnou sérii průměrného kroku účastníka studie. Ve druhém měření se projektovala série kroků přesně tak, jak byla zaznamenána v referenčním měření, tedy i s variabilitou každého kroku účastníka studie. Měření tedy spočívalo v tom, že účastníci studie byli nuceni opakovat svůj průměrný krok v prvním měření (krok periodický) a poté opakovat celou svoji chůzi (krok variabilní - zde byla obsažena variabilita jednotlivých kroků) v druhém měření. Výsledky ukázaly, že energetická náročnost byla ve srovnání s referenční chůzí (ta nebyla nijak omezována ani předepisována) významně vyšší v obou měřeních. Rozdíl mezi prvním a druhým měřením byl navzdory očekávání bez rozdílu nad hladinou významnosti. První měření, periodického kroku, zjistilo zvýšení energetického výdeje o 8 %. Druhé měření, variabilního kroku, zjistilo navýšení výdeje energie o 13 %. Podobných výsledků (navýšení energetického výdeje o 14 %) v měření manipulované šíře kroku dosáhli i Donelan et al (2001).

Tímto výzkumem Wezenberg et al (2011) dokázali, že když je člověk při chůzi nějak omezován v kroku nebo když je nucen nějakým způsobem upravovat svůj krok (zkracovat, prodlužovat, udržovat mezi určitými hranicemi, nucen pokládat chodidla na předdefinovaná místa atd.), významně se zvýší energetická náročnost chůze (v případě pouze malých zásahů do chůze až o 13 %). Tento nárůst je způsoben vyšší variabilitou

trajektorie COP (center of pressure, centrum tlaku), kterou přináší zvýšená potřeba udržovat rovnováhu pomocí hlezenních kloubů, namísto udržování rovnováhy přizpůsobováním kroku a výběrem míst došlapu, tzv. stepping strategy (což je efektivnější a energicky úspornější strategie). Tato zvýšená aktivita hlezenního kloubu dohromady se zvýšenou přípravnou aktivací svalů dolních končetin (způsobenou nutností pokládat chodidla na předdefinovaná místa) jsou důvodem vyšší energetické náročnosti. Lze to považovat za důkaz toho, že na energetickou náročnost chůze mají vliv rovnovážné strategie (Wezenberg et al (2011).

Po externím stabilizování chodce na běžícím pásu pomocí pružin byl zjištěn pokles v energetické náročnosti při chůzi s preferovanou šíří kroku o 5,7 % (Donelan et al, 2004). Když účastníci studie měli za úkol zúžit krok a chodidla pokládat na jednu přímku, energetická náročnost poklesla o 9,2 %. Pokud se při chůzi pokládají chodidla blíže k ose kroku, sníží se laterální pohyb těžiště těla při každém kroku až o 85 % (v případě pokládání chodidel na jednu přímku), což přispívá ke snížení energetické náročnosti chůze. Užší krok má ale vyšší nároky na rovnováhu a funkci zpětnovazebného mechanismu, který rovnováhu zajišťuje, což výrazně zvyšuje energetickou náročnost. V konečném důsledku se při chůzi s užším krokem (chůze po přímce) energetická náročnost zvýší o 7,4 %. Lidská chůze vyžaduje aktivní laterální stabilizaci a té je částečně dosaženo šíří kroku - pokládáním chodidel v mediálně-laterální rovině (medio-lateral foot placement). Tato mediálně-laterální vyrovnávání kroku jsou poměrně malá, pouze v nízkých jednotkách centimetrů na krok, ale signifikantně zvyšují energetickou náročnost chůze (Donelan et al, 2004). Chůze na slackline nedovoluje výběr šíře kroku a zároveň omezuje hlezenní klouby účinně kompenzovat odchylky těžiště těla pomocí zpětnovazebných mechanismů.

Udržování rovnováhy při chůzi pomocí výběru míst došlapu (stepping strategy) je energeticky efektivnější, než vyvažování svalovou činností dolních končetin, uplatňováním zpětnovazebného mechanismu (Wezenberg et al, 2011; Donelan et al, 2004). Při chůzi na slackline je volnost výběru míst došlapu značně omezena (chodidla se musejí pokládat na 2 – 5 cm široký popruh). Je pravděpodobné, že toto je jeden z důvodů zvýšené energetické náročnosti. Energetickou náročnost chůze s pokládáním chodidel na jednu přímku (jako u chůze na slackline), zvyšuje také nutnost laterálního pohybu dolních končetin. Ta vzniká kvůli potřebě švihové nohy vyhnout se při přenosu stojné noze (Donelan et al, 2001, 2004; Shorter, Wu, Kuo, 2017). Délka a šíře optimálního

lidského kroku je výsledkem přirozené snahy nalézt energeticky nejvýhodnější kombinaci (Shorter, Wu, Kuo, 2017). Pro optimalizaci energetické náročnosti chůze je nutné omezit zásahy do její přirozenosti a plynulosti na nezbytné minimum, neomezovat ani nepředdefinovat kroky a poskytnout maximum svobody a možnost vlastního řešení zadaného úkolu (Shorter, Wu, Kuo, 2017). Proto je při měření energetické náročnosti chůze pro definování úkolu vhodné využívat např. časový rámeček namísto určování parametrů kroku.

2.3.3 Aerobní zdatnost a kardiorespirační ukazatele

Kardiorespirační systém je komplex spojený ze dvou, funkčně velmi propojených systémů, srdečně-cévního a dýchacího. Funkce kardiorespiračního systému jsou životně důležité a pro pohyb zásadní. Mezi ty základní patří zajištění přísunu kyslíku a živin do svalů, odvod zplodin (katabolitů, např. amoniaku a laktátu) látkové přeměny, termoregulace, imunita a zajištění homeostázy vnitřního prostředí. Kardiorespirační systém reaguje na zátěž změnami dvojího charakteru, reaktivními a adaptačními. Reaktivní změny jsou přímou a okamžitou odpovědí na zátěž v podobě zvýšené tepové frekvence srdce, zrychleného a prohloubeného dýchání, zvýšení systolického krevního tlaku atd. Adaptační změny se projevují vlivem dlouhodobého trénování. Patří mezi ně např. zmnožení červených krvinek, minutový objem srdeční a vitální kapacita plic (Dovalil & Choutka, 2009).

Ventilační ukazatele, měřitelné metodou spirometrie, se dělí na statické a dynamické. Dynamické ukazatele poskytují informace o závislosti objemu na čase, jsou charakteristické určitou časovou dimenzí. Patří mezi ně minutová plicní ventilace (V_E), dechová frekvence (DF), dechová rezerva (DR, udává, kolikrát lze zvýšit objem proventilovaného vzduchu.), doba zadržetí dechu (apnoe) a různé průtokové rychlosti.

Statické ukazatele specifikují vlastnosti dýchacího ústrojí a nejsou závislé na čase. Mezi statické ukazatele patří dechový objem (V_T , podle anglického tidal volume), inspirační rezervní objem (IRV, množství vzduchu, které lze s úsilím vdechnout nad V_T , bývá kolem 3 l), expirační rezervní objem (ERV, objem vzduchu, který lze s úsilím dodatečně vydechnout po normálním výdechu, přibližně 1,2 l), vitální kapacitu plic (VC - vital capacity, značí jednorázový maximální dechový objem) a reziduální objem (RV, objem vzduchu zbývající v plicích po maximálním výdechu) (Bartůňková, 2013).

Minutová plicní ventilace (V_E) je množství vzduchu vdechnutého za jednu minutu, uvádí se v litrech za minutu ($l \cdot \text{min}^{-1}$). Odpovídá násobku dechové frekvence a dechového objemu. V_E se při zátěži nízké a střední intenzity zvyšuje lineárně se spotřebou kyslíku (Bernacíková, 2012). V_E v klidu je asi $8 l \cdot \text{min}^{-1}$ (Kittnar, 2011). Při vyšší zátěži, od cca 70 % $VO_{2\text{max}}$, začne V_E stoupat rychleji než lineárně s hodnotou spotřeby kyslíku. Tento zlom se nazývá anaerobní nebo laktátový práh (AP). V_E je určena dechovým objemem (V_T) násobeným frekvencí vdechů za minutu (DF).

Dechová frekvence (DF) značí počet vdechů za jednu minutu. Obvykle se zrychluje na začátku zátěže a při střední nebo vyšší intenzitě se v dalším průběhu zátěže již příliš nemění. Její klidové hodnoty jsou 15 – 20 vdechů za minutu. Může stoupat k hodnotám až 30 – 40 dechů za minutu.

Dechový objem (V_T) je objem jednoho vdechu. V klidu využívá pouze asi 15% vitální kapacity plic a při zátěži se zvyšuje. Při vysoké zátěži, kdy je doprovázen vysokou ventilací, dosahuje 50 – 60 % vitální kapacity (Máček & Radvanský, 2011).

Respirační ukazatele informují o množství kyslíku v různých tělních prostorech, vyjadřované hodnotou parciálního (částečného) tlaku kyslíku. Parciální tlak kyslíku v atmosferickém vzduchu (vdechovaný vzduch) je 21,1 %. Parciální tlak kyslíku vydechovaného vzduchu je 15,5 %. Parciální tlak CO_2 v atmosferickém vzduchu (vdechovaný vzduch) je 0,04 %. Parciální tlak CO_2 vydechovaného vzduchu je 3,9 %.

Mezi respirační ukazatele patří spotřeba kyslíku (VO_2), maximální aerobní výkon ($VO_{2\text{max}}$ a respirační kvocient (RQ) (Bartůňková, 2013).

Spotřeba kyslíku (VO_2) poskytuje míru energetické náročnosti cvičení. Veškerá uvolněná energie je čerpána z oxidace a mezi intenzitou zatížení a VO_2 existuje přímá úměra (Bartůňková, 2014). $VO_{2\text{max}}$ označuje maximální transportní kapacitu O_2 a maximální množství O_2 , který je organismus schopný zužitkovat (ACSM, 2014). VO_2 lze vyjádřit v absolutní hodnotě v litrech za minutu ($l \cdot \text{min}^{-1}$), toto vyjádření se používá pro převod spotřeby O_2 na míru energetické spotřeby. Pro porovnání VO_2 mezi více lidmi (lišících se hmotností) se používá relativní hodnota na kg tělesné hmotnosti za minutu ($ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Vyskytuje se také net VO_2 , čímž se vyjadřuje spotřeba O_2 nad rámec klidové spotřeby O_2 a používá se k popsání energetické náročnosti cvičení (ACSM, 2014). Kardiorespirační zdatnost, $VO_{2\text{max}}$, aerobní kapacita a kardiovaskulární zdatnost jsou

termíny používané synonymně (ACSM, 2014). U nás často používaným synonymem je *aerobní zdatnost*.

Podle Janoškové, Šarákové a Mužíka (2018) je *aerobní zdatnost* jednou ze tří hlavních složek zdravotně orientované zdatnosti. Dalšími dvěma složkami jsou svalová zdatnost s flexibilitou a složení těla. Aerobní zdatnost definují jako: „Způsobnost organismu účelně přijímat, přenášet a využívat kyslík (zejména v pohybové činnosti).“ Za hlavní efekt této způsobilosti považují „schopnost svalů vykonávat práci vytrvalostního charakteru“. ACSM (2014) aerobní zdatnost definují jako maximální kapacitu získávání energie aerobní cestou.

Aerobní zdatnost, měřená jako *maximální spotřeba kyslíku* (VO_{2max}), je dobrým indikátorem kardiovaskulárního zdraví člověka a může posloužit jako skvělý prediktor kardiovaskulární smrti u zdravých jedinců i u pacientů s kardiovaskulárním onemocněním. Kardiovaskulární nemoci jsou v současnosti převládajícím důvodem úmrtnosti v rozvinutých zemích (Bye et al, 2013). Je proto vhodné udržovat aerobní zdatnost pomocí pohybové aktivity na určité úrovni. VO_{2max} u 25 let starého netrévaného muže je $40 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$, u 25 let starého trénovaného muže $60 - 80 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$. U žen jsou tyto hodnoty o něco nižší (Bartůňková, 2014). Postupem věku aerobní zdatnost klesá. Nejvyšší relativní hodnoty VO_{2max} u dospělé populace byly naměřeny u 18 letých, u mužů $47 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ a u žen $37 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Bartůňková, 2013).

Aerobní zdatnost bývá nejčastěji vyjádřena v $\text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ nebo v MET (metabolic equivalent of task – metabolický ekvivalent úkolu - aktivity). MET je objektivní míra energetického výdeje relativní ke hmotnosti člověka během vykonávání fyzické aktivity, porovnávána s referenční konvenční hodnotou $3,5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, která přibližně odpovídá energetickému výdeji při klidovém sedu. Tato hodnota je označována jako VO_{2rest} neboli VO_{2klid} a odpovídá 1 MET (ACSM, 2014). Intenzita cvičení v MET je vyjádřena násobkem energetického výdeje klidového sedu. Například energetická náročnost spánku vyjádřená v MET má hodnotu 0,9, sledování televize 1 MET, psaní nebo psaní na počítači 1,5 MET chůze rychlostí $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 2,9 MET a běh rychlostí $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 8,3 MET (Sherrman, Morris et al, 1998; ACSM, 2014). Více o udržování a stimulaci aerobní zdatnosti v kapitole 2.3.5.2 Doporučení na frekvenci, intenzitu a trvání aerobní aktivity pro dospělé.

Důležitý je také vedlejší účinek aerobní zdatnosti, kterým je efektivnější srdečně cévní činnost a může dojít i k redukci nadbytečných tuků. Pro udržení nebo zlepšení aerobní zdatnosti je nutné pravidelně a dostatečně dlouho vykonávat pohybovou činnost se zapojením velkých svalových skupin. Toto úsilí by mělo vyvolat odezvu v *srdeční frekvenci* (SF), která by měla vzrůst na 60 až 80 % maximální srdeční frekvence (SFmax) (Janošková, Šeráková & Mužík, 2018). Pro orientační určení SFmax podle většiny autorů postačí vzorec, který od konstanty 220 odečítá věk.

$$\text{SFmax} = 220 \text{ tepů/min.} - \text{mínus věk člověka}$$

Pro přesnější stanovení pro danou populaci se konstanta, z které se odečítá věk, mění podle pohlaví a věku. 220 platí pro muže, 226 pro ženy, 210 pro dívky a 207 pro chlapce (Lehnert et al, 2014). Zatížení na úrovni 60 – 80 % SFmax vyvolává hluboké a zrychlené dýchání a je považováno za střední intenzitu zatížení, udávají Janošková, Šeráková a Mužík (2018). ACSM (2014) za střední intenzitu zatížení považují 64 - 76% SFmax.

SF je častým ukazatelem tréninkového efektu. Podle Choutky a Dovalila (2009) se při zjišťování srdeční frekvence pomocí sporttestrů používá termín tepová frekvence (TF). Měření TF slouží pouze pro orientační určení tréninkového efektu, protože její hodnota je ovlivnitelná řadou faktorů, somatických i psychických. TF reaguje na hladinu stresových hormonů (adrenalin) při rozrušení, tak se stává, že TF vzroste už před začátkem pohybové činnosti vlivem psychické přípravy organismu na zátěž, případně předstartovním stresem. Rychlost návratu TF na klidové hodnoty vypovídá o zdatnosti sportovce.

Karvonen, Kentala a Mustala v roce 1957 (podle Lehnerta et al, 2014) navrhli metodu a vzorec pro výpočet **maximální tepové rezervy** (MTR) a následné určení **tréninkové srdeční frekvence** (SFT) a procentuálně určili zóny SFT pro trénink různých druhů vytrvalosti. Tato metoda je široce používaná v rehabilitaci a ve sportovním tréninku (She et al, 2013). Vzorec pro MTR používá SFmax a klidovou srdeční frekvenci (SFklid).

$$\text{MTR} = \text{SFmax} - \text{SFklid}$$

Následně lze vypočítat SFT pro konkrétní zatížení - procentuální zónu zatížení. Ve vzorci je požadovaná procentuální hodnota zastoupena desetinným číslem. Např. pro SFT, která má odpovídat zatížení na úrovni 70 % MTR, použijeme vzorec:

$$\text{SFT} = (\text{SFmax} - \text{SFklid}) \cdot 0,7 + \text{SFklid}$$

SFT na úrovni 60 % MTR je vhodná pro regenerační trénink nebo pro velmi dlouhý extenzivní vytrvalostní trénink. 70 % MTR je vhodné pro normální vytrvalostní trénink – aerobní vytrvalost. 80 % MTR je vhodné pro intenzivní vytrvalostní trénink – speciální vytrvalost. Porozumění vztahu mezi MTR, VO_{2max} a SFmax je důležité pro plánování vytrvalostního tréninku (tabulka 2). Hodnoty MTR se do jisté míry shodují s hodnotami VO_{2max} .

Tabulka 3

Vztah mezi % spotřeby kyslíku (VO_{2max}), % maximální tepové rezervy (MTR) a % maximální srdeční frekvence (SFmax)

% VO_{2max}	% MTR	% SF _{max}
50	50	66
55	55	70
60	60	74
65	65	77
70	70	81
75	75	85
80	80	88
85	85	92
90	90	96
95	95	98
100	100	100

(Baechle & Earle, 2008, upraveno Lehnertem et al, 2014).

Pohyb vykonávaný svalovou činností vyžaduje přísun energie, který se dá v případě plně aerobního hrazení dobře změřit pomocí spotřeby kyslíku. **Energetický ekvivalent** kyslíku (EEO_2) je množství energie využitelné organismem při spotřebě 1 litru kyslíku. Množství uvolněné energie se u různých makronutrientů liší (Máček & Radvanský, 2011). Při metabolismu sacharidů za spotřeby 1 litru kyslíku vzniká 21,1 kJ, u proteinu 18 kJ a u lipidů 19 kJ. U smíšené stravy (sacharidy 60 %, lipidy 25 % a proteiny 15 %) je energetický ekvivalent 20,1 kJ (Kumstát & Hrnčířiková, 2012). Může být ale až 20,92 (5 kcal), pokud ve stravě převládaly sacharidy (Matarese, 1997; ACSM, 2014).

Velikost tréninkové intenzity v $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ je tradičně založená na procentuální hodnotě VO_{2max}

2.3.4 Energetická náročnost balancování

Houdijk et al. (2009) ve své studii zkoumali, jaký vliv na energetickou náročnost statického stoje má samotná kontrola rovnováhy (stabilizační činnost). V referenčním testu účastníci studie stáli vzpřímeně, s chodidly ve vzájemném paralelním postavení na širší boků. V prvním testu ve ztížených podmínkách pro udržování rovnováhy zaujmuli stoj měrný (chodidla spočívají těsně za sebou na jedné přímce). Již toto měření ukázalo 24 % nárůst energetického výdeje oproti hodnotám z referenčního měření. Pro chůzi na slackline je toto stěžejní zjištění, protože stoj měrný je základním postavením na sklackline a zároveň vyplňuje velkou část časového rámce této aktivity. V dalším testu byl měrný stoj navíc ztížen zavázáním očí - ztrátou vizuální kontroly. Nárůst energetického výdeje byl 59 % oproti hodnotám z referenčního měření. Poslední test v této studii byl ve stoju měrném (opět s vizuální kontrolou) na balanční desce se sférickou základnou (průměr kulaté balanční desky byl 60 cm a průměr sférické základny 30 cm), nárůst energetického výdeje byl 56 % oproti hodnotám z referenčního testu.

Houdijk et al (2015) experimentálně zkoumali vztah mezi rozsahem posturálních oscilací (postural sway magnitude - vyvažovací pohyby těla a končetin) a energetickým výdejem. Zpochybňují ustálený ukazatel úrovně rovnovážných schopností, kterým je rozsah a množství posturálních oscilací, protože „*lidé se většinou nesnaží minimalizovat vyvažovací pohyby, když vykonávají rovnovážný úkol*“. Často je totiž možné splnit kritéria úkolu, i když si lidé mohou zvolit míru posturálních oscilací. Z tohoto důvodu Houdijk et al (2015) předkládají nový způsob, jak určovat úroveň rovnovážných schopností, kterým je měření energetického výdeje. Zjistili, že metabolický výdej energie se mění v závislosti na míře posturálních oscilací. Nejnižší metabolický výdej byl zaznamenán v případě, kdy účastníci studie nebyli nijak omezováni v míře posturálních oscilací, tedy když si ji mohli sami určit a nemuseli ji nijak redukovat nebo navyšovat. Nejvyšší nárůst výdeje energie u účastníků studie zaznamenali, když se snažili o redukci rozsahu posturálních oscilací.

Vyrovňovací pohyby spíše než aby vypovídaly o úrovni rovnovážných schopností, reflektují neuromuskuloskeletální a environmentální podmínky. Existuje dostatek důkazů, že posturální oscilace je možné ovlivnit CNS. Lidé mohou svojí vůlí snížit nebo zvýšit míru posturálních oscilací (Houdijk et al, 2015).

Při chůzi na slackline je kontrola rovnováhy ztížena nejen měrným stojem, ale především proměnlivostí vnějšího prostředí, dynamikou slackline a z toho plynoucími zvýšenými požadavky na hluboký stabilizační systém, další svalové skupiny a centrální nervovou soustavu. Předpokládáme tedy, že nárůst energetického výdeje ve srovnání se stojem s paralelním postavením chodidel na šíři boků na pevné podložce (referenční test ze studie Houdijka at al., 2009), bude významný, možná i několikanásobně vyšší.

2.3.5 Stanovení energetické náročnosti

Celková denní energetická náročnost se skládá ze tří složek – základních procesů – bazálního metabolismu, pracovního metabolismu a dietou indukované termogeneze (Kumstát & Hrnčířiková, 2012). **Bazální metabolismus**, také nazývaný základní metabolismus, je základní látková přeměna za klidových podmínek. Označuje spotřebu energie pro udržení základních životních funkcí v organismu. V praxi je velmi obtížné zajistit standardní podmínky pro měření bazálního metabolismu, a proto se mnohem častěji zjišťuje **klidový metabolismus**. Ten označuje množství energie potřebné pro fungování organismu v klidovém režimu, odpovídá 110 % bazálního metabolismu. **Pracovní metabolismus** značí potřebu energie pro fungování organismu během nějaké aktivity, např. každodenní činnosti, sportovní aktivity rekreačního nebo závodního rázu (Bernaciková, Novotný & Siriški, 2017). **Dietou indukovaná termogeneze** označuje **termický vliv stravy**, který způsobuje nárůst klidového energetického výdeje po přijetí stravy. Je to málo proměnlivá složka celkového denního energetického výdeje, která se na něm podílí 5 – 15 %. Tyto tři složky jsou hlavními determinanty energetické potřeby člověka, ale nezanedbatelný vliv mají i proměnné jako jsou pohlaví, věk, hmotnost, výška a složení těla (Kumstát & Hrnčířiková, 2012). Pro měření energetických požadavků organismu se používá **kalorimetrie**, která se podle metody provedení rozděluje na přímou (direktní) a nepřímou (indirektní). *Přímá kalorimetrie* obnáší umístění měřeného jedince do speciální místnosti – kalorimetrické komory, kde se zjišťuje množství tepla uvolněného organismem za určitý čas. Ve sportovním výzkumu i praxi se proto používá převážně nepřímá kalorimetrie, která je po technické stránce jednodušší metodou. Díky technickým vymoženostem lze provádět terénní měření pomocí nepřímé kalorimetrie s vysokou mírou spolehlivosti.

2.3.5.1 Nepřímá kalorimetrie

Měření fyzické zátěže pomocí nepřímé kalorimetrie a následné vypočítávání spotřeby kyslíku celého těla (VO_2), produkce oxidu uhličitého (VCO_2), poměru respirační výměny (RER) a energetického výdeje má dlouhou historii začínající na konci 19. století (Robergs, Dwyer a Astorino, 2010). „*Nepřímá kalorimetrie vychází z premisy, že veškerá uvolněná energie se čerpá z oxidací, existuje přímá úměra mezi intenzitou zatížení a spotřebou kyslíku*“ (Bartůňková, 2014). Energetická náročnost organismu je dána množstvím spotřebovaného kyslíku. Metodou nepřímé kalorimetrie se měří spotřeba kyslíku, produkce oxidu uhličitého a následně se vypočítávají další parametry, např. klidová (resting energy expenditure – REE) nebo pracovní energetická náročnost. Lidská energie pochází z chemické energie, která je oxidativním způsobem uvolňována z nutričních substrátů - sacharidů, lipidů a proteinů (Matarese, 1997). Produkce energie je konečným cílem metabolismu všech živin přijatých organismem. Převážná část této energie je získávána kompletní oxidací jednotlivých nutričních substrátů na oxid uhličitý a vodu (Pátková, 2018). Chemická energie glukózy může být přeměněna na teplo, po úplné oxidaci 1 g glukózy na CO_2 a H_2O se uvolní energie o množství 15,65 J (Matarese, 1997). Nepřímou kalorimetrii lze provádět v *systému uzavřeného okruhu*, kdy je účastník studie izolován od okolního atmosférického vzduchu a vdechuje 100% kyslík z rezervoáru a vydechuje do jiné části uzavřeného systému, kde se měří množství spotřebovaného kyslíku. Systém uzavřeného okruhu se používal především ve starších přístrojích a měření bylo zatíženo větší chybovostí (Pátková, 2018). Při použití *systému otevřeného okruhu* účastník studie vdechuje atmosférický vzduch a vydechuje do zařízení, které směs vydechovaných plynů analyzuje. Atmosférický vzduch se skládá ze 78 % dusíku, 21 % z kyslíku, z 0,03 % oxidu uhličitého a necelé 1 % tvoří vzácné plyny. Vzduch může být různě nasycený vodními parami (od 0 % u suchého vzduchu po 6 % u plně nasyceného vzduchu za teploty 37 °C – případ vydechovaného vzduchu). Vydechovaný vzduch obsahuje rovněž 78 % dusíku a 1 % vzácných plynů, ale 17 % kyslíku a 4 % oxidu uhličitého (Kittnar, 2011, s. 269). Systém otevřeného okruhu umožňuje použití lehkých přenosných analyzátorů a je proto vhodný pro využití ve sportovních studiích.

Krom energetického výdeje nepřímá kalorimetrie stanovuje také **respirační kvocient (RQ)**. Podle Moonen, Beckers a Zanten (2021) RQ představuje číslo, které udává poměr mezi množstvím vyprodukovaného oxidu uhličitého a množstvím spotřebovaného

kyslíku (CO_2/O_2), k jejichž výměně dochází na **buněčné úrovni**. Pro výpočet RQ se používá vzorec:

$$\text{RQ} = \frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$$

RQ určuje poměr jednotlivých aktuálně metabolizovaných nutričních substrátů, které se podílejí na energetickém krytí. (Kumstát & Hrnčířiková, 2012). Platí, že když RQ odpovídá hodnotě 0,71, organismus oxiduje lipidy. Když je na hodnotě 0,82, oxidují se proteiny (u proteinů je stanovení RQ složité, protože se neoxidují pouze na NO_2 a H_2O , ale vzniká i nebílkovinný dusík (Kumstát & Hrnčířiková, 2012)). Hodnota RQ 0,85 znamená metabolizování směsi substrátů, hodnota 1 spalování čistě jen sacharidů a nad 1 (1,0 – 1,2) se dostává jen při hrazení kyslíkového dluhu po výrazné zátěži, což indukuje lipogenezi, tedy proces syntézy lipidů ze sacharidů probíhající v játrech (Matarese, 1997). Je tomu tak protože oxidace glukózy produkuje stejné množství molekul CO_2 , jaké množství molekul O_2 spotřebovává. K oxidaci jedné molekuly glukózy je zapotřebí 6 molekul O_2 a vzniká 6 molekul CO_2 , tedy poměr 1:1, který se rovná 1. Při oxidaci mastných kyselin se na jednu molekulu MK spotřebovává 9 molekul O_2 a vzniká 6 molekul CO_2 , RQ tedy vychází 0,67 (6:9), což je fyziologické minimum. Někteří autoři uvádějí, že respirační kvocient může dosáhnout maximální hodnoty 1 (Bernaciková, Novotný & Siriški, 2017). „*RQ reflektuje využívání různých substrátů, nemůže tedy překročit hodnotu 1*“, vysvětluje Deuster a Heled (2008).

Další údaj, který zjišťuje nepřímá kalorimetrie, je **poměr respirační výměny – RER** (respiratory exchange ratio). Stejně jako u RQ se jedná o poměr mezi vylučovaným CO_2 a spotřebovaným O_2 . Na rozdíl od RQ se tento poměr nezjišťuje na buněčné úrovni, ale z vydechaného vzduchu (Bernaciková, Novotný & Siriški, 2017). Číslo RER začíná narůstat až při intenzivní zátěži a na hodnotu 1 se dostává při dosažení anaerobního prahu (druhého ventilačního prahu), když vylučovaný CO_2 dosáhne stejné hodnoty jako spotřebovaný O_2 (Struhár et al, 2019). Organismus začne metabolizovat glykogen méně účinnou anaerobní glykolýzou a hromadit laktát, který se jako vedlejší produkt nestihá odbourávat. RER při intenzivní zátěži může stoupat až na vrcholnou hodnotu přes 1,15 (Deuster & Heled, 2008).

Pro stanovení energetického výdeje se v současnosti nejčastěji používá zjednodušená Weirova rovnice. Původní Weirova rovnice počítá i s odpadním dusíkem v moči, který reprezentuje proteinovou oxidaci. V současnosti používaná zjednodušená rovnice, za

účelem zvýšení proveditelnosti a zjednodušení měření, s dusíkem v moči již nepočítá. Ukázalo se, že vynechání počtu s odpadním dusíkem v moči zvyšuje chybovost měření jen o maximálně 1 - 2 % (Moonen, Beckers & Zanten, 2021). Weirova rovnice pro výpočet využívá hodnoty získané nepřímou kalorimetrií – spotřebu kyslíku (VO_2 ; $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) a objem vydaného oxidu uhličitého (VCO_2 ; $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$). Zjednodušená Weirova rovnice má tvar:

$$\text{EE} [\text{kcal}/\text{den}] = 1,44 \times ([\text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) \times 3,94] + [\text{VCO}_2 (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) \times 1,11])$$

Současné, moderní nepřímé kalorimetry do výpočtu energetického výdeje a do výpočtů oxidace substrátů započítávají hodnoty RQ a npRQ (ne-proteinový respirační kvocient), což zpřesňuje získané výsledky (Hronek & Zadák, 2011, podle Patková, 2018).

Energetickou náročnost lze stanovit i s použitím energetického ekvivalentu pro kyslík (EEO_2) namísto objemu vdechovaného kyslíku (VO_2 ; $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) a objemu vydechovaného oxidu uhličitého (VCO_2 ; $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$). S použitím korekčního faktoru STPD (Standard Temperature Pressure Dry) nebo ATPS (Ambient Temperature Pressure Saturated – aktuální teplota prostředí, aktuální atmosferický tlak, nasycenost vodními parami), který odpovídá aktuálním podmínkám okolního prostředí (Bartůňková, 2013).

$$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1} = \text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) \times \text{faktor STPD} \times \text{EEO}_2$$

2.3.5.2 Doporučení na frekvenci, intenzitu a trvání aerobní aktivity pro dospělé.

Pro preskripci pohybové činnosti se záměrem udržet nebo zlepšit zdraví, je vhodné řídit se kvalitativními a kvantitativními doporučeními renomovaných organizací, jako jsou World Health Organisation (WHO), Centers for Disease Control and Prevention (CDC), American Heart Association (AHA) nebo American College of Sports Medicine (ACSM). V této kapitole shrneme doporučení od ACSM.

Dospělým lidem je doporučeno zapojení se do fyzické aerobní aktivity střední intenzity po dobu minimálně 30 minut denně s minimální frekvencí 5 dní v týdnu (nebo jiná kombinace odpovídající minimálně 150 minutám týdně) nebo do fyzické aerobní aktivity vysoké intenzity po dobu minimálně 20 minut denně s minimální frekvencí 3 dny v týdnu. Možností je jakákoli kombinace zátěže střední a vysoké intenzity s takovou frekvencí a trváním, aby bylo dosaženo $\geq 500 - 1000 \cdot \text{min} \cdot \text{týden}^{-1}$ (ACSM, 2014). Shodná doporučení udává i AHA (Anton et al, 2011).

Například pro dosažení těchto hodnot prostřednictvím chůze po rovině, rychlostí $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (odpovídá hodnotě 3,9 MET) $\times 5$ dnů v týdnu $\times 30$ minut je získáno 585 MET. U běhu rychlostí $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (odpovídá hodnotě 8,6 MET) stačí běžet 20 - 40 minut 3 dny v týdnu ($8,6 \times 20 \text{ min} \times 3 \text{ dny v týdnu} = 516 \text{ MET}$; $8,6 \times 40 \text{ min} \times 3 \text{ dny v týdnu} = 1032 \text{ MET}$).

Dospělí by také měli vykonávat pravidelný odporový trénink každé velké svalové skupiny a neuromotorické cvičení zahrnující rovnováhu, agilitu a koordinaci. Pro zachování rozsahu kloubních pohybů je nezbytné pravidelné mobilizační cvičení a cvičení zaměřené na flexibilitu hlavních svalošlachových skupin o frekvenci minimálně 2 dny v týdnu po dobu 60 s na každý cvik. Pohybový program by měl být modifikován podle individuálních zvyklostí ohledně fyzických aktivit, fyzických schopností a dovedností, zdravotního stavu, odezvy organismu na zátěž a stanovených cílů (ACSM, 2011).

Pro srovnání, doporučení WHO neudávají minimální požadavky, ale rozpětí, v kterém by se konkrétní populace měla pohybovat. Pro dospělé je to 150 – 300 minut fyzické aktivity střední intenzity týdně nebo 75 – 150 minut fyzické aktivity vysoké intenzity týdně. U dětí a adolescentů ve věku 5 – 17 let WHO udává, že fyzická aktivita je asociována se zlepšením fyzického, duševního a kognitivního zdraví. Tyto benefity jsou pozorovány při praktikování fyzické aktivity střední až vysoké intenzity po dobu průměrně 60 minut denně, fyzická aktivita nad rámec 60 minut denně přináší další zdravotní benefity. Nové poznatky ve sportovní vědě za posledních 10 let přiměly WHO změnit jejich doporučení z roku 2010 na objem fyzické aktivity u dětí a adolescentů z „minimálně“ 60 minut denně na „průměrně“ 60 minut denně (WHO, 2020).

Tato doporučení na preskripci objemu (frekvence a trvání) pohybové aktivity od ACSM, AHA a WHO mají své oponenty. Např. studie přezkoumávající tato doporučení u chůze střední a vysoké intenzity (155 účastníků studie, 6 měsíců intervence) došla k závěru, že organizacemi ACSM a AHA doporučený tréninkový objem chůze střední intenzitou nemá klinicky významný pozitivní vliv na aerobní zdatnost. U chůze vysoké intenzity v daném tréninkovém objemu se pozitivní vliv již potvrdil (Anton et al, 2011).

3 Praktická část

3.1 Výzkumné otázky

Jaká je energetická náročnost chůze na slackline a jak vysoká je ve srovnání s klidovými hodnotami měřenými v sedu?

Je chůze na slackline vhodným prostředkem k naplnění předepisovaných pohybových požadavků stanovených ACSM pro dosažení zdravotě orientovaných cílů u dospělé populace?

3.2 Cíle práce

Cílem tohoto výzkumu je posoudit energetickou náročnost balancování a chůze na slackline u populace mírně pokročilých a pokročilých dospělých slacklinerů.

3.3 Úkoly práce

- Prostudovat českou i zahraniční odbornou literaturu relevantní k chůzi na slackline.
- Popsat možné vlivy na energetickou náročnost chůze na slackline.
- Stanovení výzkumných otázek a cílů práce.
- Vypracovat strategii testování – metodiku měření.
- Provézt samotné testování, vypracovat deskriptivní statistiku a interpretovat výsledky.
- Posoudit energetickou náročnost chůze na slackline pomocí MET.
- Popsat vliv chůze na slackline na zdravotně orientovanou zdatnost.

3.4 Metodika práce

3.4.1 Soubor

Studie se účastnilo 22 dobrovolníků, dva byli kvůli nesplnění požadavků vyřazeni. První vyřazený nedokázal chodit požadovanou rychlostí a druhý vyřazený padal příliš často na to, abychom z jeho naměřených hodnot mohli vyvodit informace o energetické náročnosti chůze na slackline. U jednoho účastníka studie se kvůli technické chybě nepodařilo získat výsledky a zbylých 19 bylo započítáno do studie. 19 účastníků studie, s jejichž výsledky jsme pracovali, bylo ve věku $29,7 \pm 9,6$ let, 14 mužů a 5 žen. Žádný z účastníků se chůzi na slackline nevěnoval profesionálně, všichni tuto aktivitu provozují jako volnočasovou rekreační činnost, nikoli na výkonnostní úrovni. Všichni účastníci studie byli instruováni, aby před měřením minimálně dvě hodiny nekonzumovali velká jídla a nepili sladké nápoje, 4 hodiny nepili kávu a jiné kofeinové nápoje, nekouřili a nepožili jiné stimulanty. Výzkum byl schválen etickou komisí UK FTVS a účastníci byli předem informováni o bezpečnostních rizicích a průběhu měření. Před započítáním měření všichni účastníci studie podepsali informovaný souhlas, který byl schválený etickou komisí FTVS UK. Při výběru účastníků studie byla požadována schopnost přejít 20 m dlouhý slackline.

Všichni účastníci studie byli prostřednictvím sociálních sítí (Facebook, veřejná skupina „Lajny - kdy a kde?“), telefonu nebo emailu seznámeni s výzkumem a jejich úlohou v něm. Byli pozváni do areálu FTVS, kde probíhalo měření a byli vyzváni k rozcvičení se a seznámení se se slackline, na které testování probíhalo. Byli seznámeni s průběhem testování, poučeni o bezpečnosti a byl jim předložen informovaný souhlas.

Na základě celkového počtu pádů dohromady ze tří testů probíhajících na slackline (stoj na jedné noze, chůze vlastní rychlostí a chůze určenou rychlostí) byl soubor rozdělen na dvě skupiny. U první skupiny, mírně pokročilých, jsme zaznamenali 18 ± 9 pádů. U druhé skupiny, pokročilých, jsme zaznamenali 2 ± 2 pádů.

3.4.2 Realizace měření

K měření byl zvolen slackline od českého výrobce Equilibrium Slacklines o šíři 5 cm. Byl ukotven mezi stromy tak, aby jeho délka byla přesně 10 m. Střed slackline byl 76 cm nad zemí. Slackline byl vypnutý tak, že po zavěšení 20 kg závaží na jeho střed bylo toto

místo od země vzdáleno 62 cm (účastníci studie byli uprostřed slackline podle vlastní hmotnosti cca 40 cm nad zemí). Pod slackline se necházel měkký travnatý povrch, který byl zbaven všech předmětů (šišek a klacků) pro zajištění bezpečnosti. Na začátku slackline byla ve vzdálenosti 3 m umístěna lavička pro klidové fáze měření.

Na každého účastníka studie jsme upevnili hrudní pás (sporttester, Polar Electro OY, Finsko) pro měření SF a metabolický analyzátor vydechovaných plynů MetaMax 3B (Cortex Biophysik, Německo; celková hmotnost 1,4 kg) s obličejovou maskou odpovídající velikosti obličeje. Analyzátor výdechových plynů byl na začátku každého měřicího dne zkalibrován s okolním vzduchem a tlakem pomocí kalibračního válce. Vyplňování protokolu a podepisování informovaného souhlasu předcházelo přípravě a dohromady celý proces trval okolo 10 minut, což byl dostatečný čas na zklidnění organismu a ustálení VO_2 , SF a ventilačních ukazatelů na hodnotách nepříliš vzdálených klidovému metabolismu. Pomocí sportovní časovací aplikace Tabata Timer byly měřeny jednotlivé úseky měření a signalizovány změny poloh, rychlost chůze a odpočinky. Časová aplikace byla spuštěna současně s analyzátozem výdechových plynů a tím začal 5 minut dlouhý časový úsek určený pro zklidnění organismu, z jehož poslední minuty jsme později určili klidové ukazatele, blízké klidovému metabolismu. Každý z testů trval 4 minuty a byla použita naměřená data z celých 4 minutových úseků, která byla průměrována a dále zpracovávána. Celé měření trvalo 37 minut a skládalo se z těchto částí:

1. 5 minut zklidnění organismu a získání klidových hodnot v sedu (klid).
2. 4 minuty stoj na pevné podložce s chodidly mírně od sebe (stoj).
3. 4 minuty stoj na pevné podložce střídavě na levé a pravé noze, výměny nohou po 20 sekundách (SJ).
4. 4 minuty odpočinek v sedu.
5. 4 minuty stoj na slackline střídavě na levé a pravé noze, výměny nohou po 20 sekundách (SJS).
6. 4 minuty odpočinek v sedu.
7. 4 minuty chůze na slackline vlastní rychlostí (ChVR).
8. 4 minuty odpočinek v sedu.
9. 4 minuty chůze na slackline určenou rychlostí (ChUR).

Klidové hodnoty každého účastníka byly získány v prvním testu „klid“ z poslední minuty pěti měřených minut. Další tři odpočinky v sedu nám pomohly pro ověření prvního testu.

Účastníci studie měli po celou dobu měření zakázáno mluvit, aby nedošlo k ovlivnění měření. Také jim bylo řečeno, aby dýchali plynule, přirozeně, nezadržovali dech a vyvarovali se hyperventilaci. Odpočinky probíhaly v sedu na lavičce. 20 sekundové intervaly byly oznamovány zvukovými signály. ChVR byla účastníkům studie vysvětlena jako rychlost pro ně nejpřirozenější a nejpohodlnější, nebyla nijak omezována. K otáčení se na koncích slackline byly u ChVR a ChUR využívány kmeny stromů, na kterých byl slackline ukotven. Určená rychlost byla 15 m/min, což odpovídalo přejítí 10 m dlouhé slackline za 40 sekund, byla signalizována polovina časového úseku, kdy měl být proband uprostřed slackline. Hlavní řešitel slovně vyzýval ke zpomalení nebo zrychlení, pokud rychlost neodpovídala $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. U SJ a SJS signály po 20 sekundách sloužili jako výzva k výměně nohou. U SJS, ChVR a ChUR byly počítány pády. U ChVR byla zjišťována ušlá vzdálenost, která byla později použita k vypočítání rychlosti. Za pád bylo považováno dotknutí se nohou země. V případě pádu účastník studie nastoupil zpět na slackline v místě kde spadl, a pokračoval v chůzi.

Měření bylo realizováno v třech dnech. V prvním dnu bylo testováno 9 účastníků studie, jejichž výsledky byly použity, teplota vzduchu byla 26 °C, foukal slabý vítr o rychlosti 2 m/s, vlhkost vzduchu byla 44 %. Druhý den měření bylo testováno 5 účastníků studie, jejichž výsledky byly použity, teplota vzduchu byla 16 °C, foukal vítr o rychlosti 4 m/s, vlhkost vzduchu byla 60 %. Třetí den bylo testováno 6 účastníků studie, z toho u jednoho se kvůli technické chybě nepodařilo zaznamenat výsledky. Teplota vzduchu byla 16 °C, foukal slabý vítr o rychlosti 1 m/s, vlhkost vzduchu byla 57 %.

3.4.3 Antropometrické a tréninkové ukazatele

Byly zjišťovány antropometrická data – věk, hmotnost, výška, a tréninkové ukazatele – jak dlouho se jedinci aktivitě věnují, kolik tréninkových jednotek absolvovali za poslední rok a jak dlouhý slackline jsou aktuálně schopni přejít a jaké další aktivity, které by mohly ovlivnit rovnovážné schopnosti, pravidelně provozují. Tato data a ukazatele byly zjištěny dotazováním, pomocí papírového dotazníku, který byl všem účastníkům předložen před začátkem měření spolu s informovaným souhlasem.

3.4.4 Posouzení energetické náročnosti

K měření spotřeby kyslíku (VO_2), minutové plicní ventilace (V_E), dechového objemu (V_T) a dechová frekvence (DF) byl použit analyzátor výdechových plynů MetaMax 3B (Cortex Biophysik, Německo), který při měření v otevřeném systému zaznamenal změny dýchacích plynů u každého výdechu metodou „dech od dechu“. Údaje byly zaznamenány do paměti analyzátoru a později exportovány do počítače. Technická chyba analyzátoru podle výrobce odpovídá 2 % (Cortex-Medical, 2016).

EE byla zjišťována metodou nepřímé kalorimetrie, která měří spotřebu kyslíku a s využitím hodnoty energetického ekvivalentu pro kyslík (EEO_2) ji přepočítává na energetickou náročnost. EEO_2 se pohybuje od 4,69 kcal (v případě metabolizování lipidů) po 5,05 kcal (při metabolizování sacharidů). Pro smíšenou stravu různí autoři udávají různé hodnoty EEO_2 , v této práci používáme hodnotu 5 kcal (20,92 KJ), kterou udává například ACSM (2014). Analyzátor Metamax 3B automaticky počítá s korekčními faktory. Pro korekci V_E a V_T používá faktor BTPS (Body Temperature, Pressure, Saturated), který pracuje s tělesnou teplotou 37 °C, aktuálním atmosferickým tlakem a nasyceností vzduchu vodními parami. BTPS má vždy hodnotu > 1 . Pro korekci VO_2 a VCO_2 používá faktor STPD (Standard Temperature, Pressure, Dry), který využívá standardní teplotu 0 °C, standardní atmosferický tlak 101,3 kPa a suchý plyn 0 % relativní vlhkosti. STPD má vždy hodnotu < 1 (Bartůňková, 2013).

Výpočet energetické náročnosti jsme provedli pomocí vzorce:

$$kJ \cdot \min^{-1} = VO_2 (ml \cdot \min^{-1}) \times \text{faktor STPD} \times EEO_2$$

Výpočet jsme provedli zvlášť pro skupinu mírně pokročilých, pro skupinu pokročilých a pro celý soubor u všech šesti testů. VO_2 a $VO_2 \cdot kg^{-1}$ jsme pomocí EEO_2 přepočítali na absolutní hodnoty EE, které jsme zobrazili v tabulce 5, a hodnoty EE relativní k hmotnosti účastníků studie jsme uvedli v tabulce 6.

Za zvlášť důležitá zjištění považujeme hodnoty EE u testů SJS, ChVR a ChUR a jejich vzájemné rozdíly u skupin mírně pokročilých a pokročilých. Pro názorné srovnání jsme je zanesli do grafu 1.

3.4.5 Vyhodnocování výsledků

Výsledky byly z přístroje Metamax 3B exportovány do programy MetaSoft® Studio, kde jim byly přiřazeny antropometrické údaje jednotlivých účastníků studie a následně byly zpracovány v programu Microsoft Excel 2016. V programu Excel byly vypočítány a zpracovány všechny ventilační a respirační ukazatele, energetická náročnost, vypracována deskriptivní statistika (aritmetické průměry, směrodatné odchylky) a statistické ukazatele - míry věcné významnosti rozdílů a závislostí pomocí dvouvýběrového t-testu a cohenovo d . Sledované hodnoty VO_2 , EE a SF jsou znázorněny v tabulkách a grafech. p -hodnota (také označovaná anglicky p -value nebo jako signifikance) je číselná hodnota používaná při statistickém testování hypotéz.

EE byla vypočítána u každého testu zvlášť pro skupinu mírně pokročilých a skupinu pokročilých vynásobením průměrného VO_2 všech účastníků studie v dané skupině s EEO_2 a výsledek zapsán v $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ a v $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro relativní EE na kg tělesné hmotnosti.

Hladina statistické významnosti byla nastavena na hodnotu $\alpha = 0,05$ ($P < 0,05$). Pro určení míry věcné významnosti rozdílů bylo použito cohenovo d , které znázorňuje velikost efektu (effect size - ES), které se spočítá pomocí vzorce:

$$d = (x_1 - x_2) / s_{pooled}$$

Kde x_1 a x_2 jsou průměry v první (mírně pokročilé) a druhé (pokročilé) skupině a s_{pooled} je jejich průměrná směrodatná odchylka obou souborů. Rozpětí absolutní hodnoty cohen d (0,2 – 0,5) značí malou velikost efektu, rozpětí (0,5 – 0,8) značí střední velikost efektu a hodnota nad 0,8 značí velkou velikost efektu.

3.5 Výsledky

Průměrná hmotnost účastníků studie byla $74,9 \text{ kg} \pm 12,5 \text{ kg}$, průměrná tělesná výška $177,4 \text{ cm} \pm 8,1 \text{ cm}$. Průměrný věk 14 mužů byl $31,9 \pm 10,2$ let, průměrná hmotnost $78,4 \pm 12,2 \text{ kg}$ a jejich průměrná výška $180 \pm 7,5 \text{ kg}$. Průměrný věk 5 žen byl $23,7 \pm 3,9$ let, průměrná hmotnost $65,4 \pm 8,4 \text{ kg}$ a jejich průměrná výška $170 \pm 4,9 \text{ cm}$.

Rozdělení do skupin bylo provedeno na základě počtu pádů během testů realizovaných na slackline jak je popsáno výše, skupiny ale lze charakterizovat i tréninkovými ukazateli. Účastníci studie ze skupiny mírně pokročilých se chůzi na slackline průměrně věnují $4 \pm 2,3$ let, účastníci ze skupiny pokročilých průměrně $7 \pm 3,1$ let. Účastníci ze skupiny mírně pokročilých za poslední rok absolvovali průměrně 45 ± 41 tréninkových jednotek chůze na slackline a účastníci z pokročilé skupiny průměrně 47 ± 49 tréninkových jednotek. Průměrná maximální délka slackline, kterou jsou účastníci studie aktuálně schopni přejít, je u mírně pokročilých $59,6 \pm 37,7$ m a u pokročilých $69,5 \pm 34$ m.

Ze studie Serrien et al (2017) popisující nízké možnosti transferu rovnovážných schopností do jiných aktivit, a z práce Ringhofa a Steina (2018), která dokazuje velmi vysokou míru specifčnosti různých balančních testů, pro tuto práci vyvozujeme, že případné zkušenosti účastníků naší studie s dalšími rovnovážnými sporty nemají významný vliv na dovednost chůze na slackline. Provozování dalších balančních aktivit a sportovních aktivit, které kladou vysoké nároky na rovnovážné schopnosti, nepovažujeme za faktor, který by mohl významně ovlivnit výsledky tohoto výzkumu. Zajímavé bylo zjištění, že maximální délka slackline, kterou účastníci studie byli v době měření schopni přejít (všeobecně považována za jeden z hlavních ukazatelů zdatnosti v chůzi na slackline) nijak nekorespondovala s počty pádů ani s měřenými hodnotami. Toto zjištění potvrzuje vysokou míru specifčnosti rovnovážných úkolů (Serrien et al, 2017; Ringhof & Stein, 2018).

Z důvodu nemožnosti zajištění takové konfigurace slackline, která by vyhovovala všem účastníkům studie, byly podmínky pro některé (v jiných podmínkách zdatné) slacklinery nezvykle náročné. 8 z 19 účastníků studie, jejichž výsledky měření byly použity, vypovědělo, že slackline, na kterém probíhalo měření, pro ně byl příliš silně natažený, což jim při jednotlivých testech působilo obtíže. Silné natažení pozměňuje vlastnosti slackline, přináší rychlejší oscilace o vysoké frekvenci. Z těchto 8 účastníků 2 měli velké problémy tento pro ně nezvyklý typ slackline přecházet, což se projevilo na vyšším počtu pádů a není vyloučené, že i na vyšší energetické náročnosti. Tito dva účastníci kvůli častějším pádům a časové náročnosti opětovného nastupování na slackline nesplnili požadavek na rychlost v testu ChUR. Namísto rychlostí $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ se pohybovali rychlostí $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a $12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Naměřená data naznačují, že případná energetická úspora pomalejší chůze byla vykompenzována energetickou ztrátou častějších pádů.

Rozdělení účastníků do skupin mírně pokročilých a pokročilých proběhlo na základě dovednosti chodit a stát na tomto konkrétním slackline, vyhodnocovali jsme počty pádů.

Hodnoty DF a V_T se napříč skupinami statisticky významně nelišily ($p > 0,05$). Hodnoty VT byly u mírně pokročilé skupiny statisticky významně vyšší ($p < 0,05$) v testech SJS, ChVR a ChUR, jsou zaneseny do tabulky 4.

Tabulka 4

Průměrné naměřené hodnoty ve všech testech u mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru.

	test	jednotky	mírně pok. (n = 10)	pokročilí (n = 9)	celý soubor (n = 19)
VO₂	klid	[l·min ⁻¹]	0,36	0,34	0,35
	stoj	[l·min ⁻¹]	0,37	0,38	0,37
	SJ	[l·min ⁻¹]	0,47	0,49	0,48
	SJS	[l·min ⁻¹]	1,30*	1,02*	1,17
	CHVR	[l·min ⁻¹]	1,67	1,48	1,58
	CHUR	[l·min ⁻¹]	1,68*	1,34*	1,52
VO₂·kg⁻¹	klid	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	4,82	4,64	4,74
	stoj	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	4,93	5,08	5,00
	SJ	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	6,33	6,55	6,43
	SJS	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	17,57*	13,80*	15,78
	CHVR	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	22,44	19,84	21,21
	CHUR	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	22,53*	18,04*	20,40
SF	klid	[tepů·min ⁻¹]	79,70	76,89	78,37
	stoj	[tepů·min ⁻¹]	87,70	87,67	87,68
	SJ	[tepů·min ⁻¹]	90,70	89,22	90,00
	SJS	[tepů·min ⁻¹]	129,30	116,78	123,37
	CHVR	[tepů·min ⁻¹]	137,10	124,78	131,26
	CHUR	[tepů·min ⁻¹]	137,10	120,78	129,37
V_E	klid	[l·min ⁻¹]	12,56	11,72	12,16
	stoj	[l·min ⁻¹]	12,71	13,19	12,94
	SJ	[l·min ⁻¹]	14,72	15,32	15,01
	SJS	[l·min ⁻¹]	35,89*	27,18*	31,76
	CHVR	[l·min ⁻¹]	44,66*	36,39*	40,74
	CHUR	[l·min ⁻¹]	45,81*	34,22*	40,32
V_T	klid	[l]	0,76	0,77	0,77
	stoj	[l]	0,84	0,80	0,82
	SJ	[l]	0,91	0,85	0,88
	SJS	[l]	1,43	1,28	1,36
	CHVR	[l]	1,59	1,42	1,51
	CHUR	[l]	1,54	1,35	1,45
DF	klid	[DF·min ⁻¹]	18,00	16,89	17,47
	stoj	[DF·min ⁻¹]	17,40	18,22	17,79
	SJ	[DF·min ⁻¹]	18,50	19,78	19,11
	SJS	[DF·min ⁻¹]	27,30	22,89	25,21
	CHVR	[DF·min ⁻¹]	30,10	27,11	28,68
	CHUR	[DF·min ⁻¹]	31,80	26,89	29,47

* hodnoty mezi skupinami se statisticky významně liší (p < 0,05)

3.5.1 Energetická náročnost

Cílem této práce bylo posoudit energetickou náročnost chůze na slackline, nejdůležitějšími výsledky je absolutní EE (tabulka 5) a relativní EE na kg (tabulka 6).

Tabulka 5

Energetická náročnost v $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ u skupin mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru v různých testech.

	EE klid [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$]	EE stoj [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$]	EE SJ [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$]	EE SJS [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$]	EE ChVR [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$]	EE ChUR [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$]
mírně pokročilí	7,49	7,66	9,85	27,24*	34,83	35,21*
pokročilí	7,18	7,90	10,25	21,38*	30,96	28,06*
celý soubor	7,34	7,77	10,04	24,47*	33,00	31,82*

* hodnoty mezi skupinami se statisticky významně liší ($p < 0,05$)

Tabulka 6

EV v $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ u skupin mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru v různých testech.

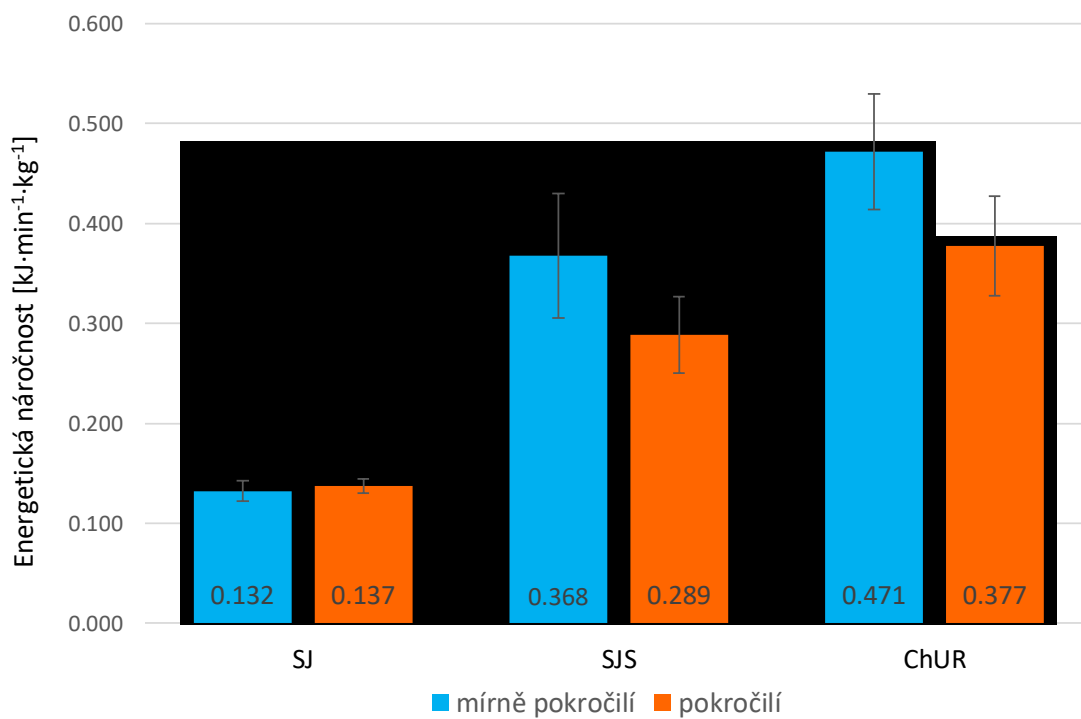
	EE/kg klid [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	EE/kg stoj [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	EE/kg SJ [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	EE/kg SJS [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	EE/kg ChVR [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	EE/kg ChUR [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]
mírně pokročilí	0,101	0,103	0,132	0,368*	0,469	0,471*
pokročilí	0,097	0,106	0,137	0,289*	0,415	0,377*
celý soubor	0,099	0,105	0,135	0,330*	0,444	0,427*

* hodnoty mezi skupinami se statisticky významně liší ($p < 0,05$)

Statisticky a věcně významné rozdíly ($P < 0,05$; $d > 1,3$) mezi skupinami byly naměřeny u SJS a ChUR. U ChVR se neprokázala statistická významnost ($P > 0,05$), ale prokázal se vysoký ES ($d = 0,87$). Relativní energetická náročnost stoje na jedné noze na slackline oproti stoju na jedné noze na pevné podložce významně vzrostla u všech částníků studie. U mírně pokročilých je SJS průměrně na 278 % SJ, u pokročilých je SJS průměrně na 211 % SJ a u celého souboru průměrně na 244 % SJ. Srovnání SJ, SJS a ChUR je patrné z grafu 1. Graf 1 zobrazuje i standardní chybovost, která může vzniknout při měření a vlivem výběru vzorku pro výběrové šetření.

Graf 1

Srovnání mírně pokročilých a pokročilých ve SJ, SJS a ChUR pomocí relativní energetické náročnosti



3.5.2 Energetická náročnost chůze na slackline vyjádřená v MET

Pro srovnání EE stoje a chůze na slackline, které jsme měřili, jsme zjištěné hodnoty přepočítali na metabolické ekvivalenty MET. MET jsme vypočítali pomocí průměrných relativních hodnot $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ dělených referenční konvenční hodnotou $3,5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Hodnoty MET jsme vypočítali pro celý soubor ($n = 19$), pro skupinu pokročilých ($n = 10$) a pro skupinu mírně pokročilých ($n = 9$) u testů SJS, ChVR a ChUR a zanesli je do tabulky 7. Pro porovnání s údaji ACSM (2014) jsme vybrali test ChUR, který díky konstantní rychlosti všech účastníků studie a díky své vysoké podobnosti s reálnou podobou chůze na slackline jako sportu, poskytuje objektivní a prakticky využitelné informace. Hodnota MET u tohoto testu pro celý soubor ($n = 19$) byla 5,83, pro skupinu pokročilých ($n = 10$) 5,15 a pro skupinu mírně pokročilých ($n = 9$) 6,44. Hodnoty MET u testu ChUR jsou podle údajů ACSM (2014) na pomezí střední a vysoké

intenzity. Nad 6 MET se hovoří o vysoké intenzitě (vigorous intensity), nad tuto hranici se dostala skupina mírně pokročilých slacklinerů.

Tabulka 7

Energetická náročnost testů na slackline v MET u mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru

	SJS	ChVR	ChUR
Mírně pokročilí (n = 10)	5,02	6,41	6,44
Pokročilí (n = 9)	3,94	5,67	5,15
Celý soubor (n = 19)	4,51	6,06	5,83

3.5.3 Velikost zatížení podle srdeční frekvence

Průměrná SF u žen byla na úrovni 139 tepů za minutu u testu SJS, 146 tepů za minutu u ChVR a 147 tepů za minutu u ChUR. Průměrná SF u mužů byla na úrovni 118 tepů za minutu u SJS, 126 u ChVR a 123 u ChUR. SF jsme hlouběji porovnali u testu ChUR, kdy byla rychlost chůze stejná pro všechny účastníky studie a zároveň se prokázaly nejvyšší rozdíly v SF napříč skupinami ze všech testů. Míra korelace u testu ChUR byla však jen mírně za hranicí statistické významnosti. Míra korelace u ostatních testů, v případě SF, byla pod hranicí statistické významnosti, a z tohoto důvodu zde výsledky dalších testů více nerozebíráme. SFmax, odhadnutá podle vzorce: $SF_{max} = 220$ (pro muže) nebo 226 (pro ženy) tepů/min. mínus věk člověka, s průměrným věkem všech žen a všech mužů, dává hodnoty 202 tepů za minutu pro ženy a 188 pro muže.

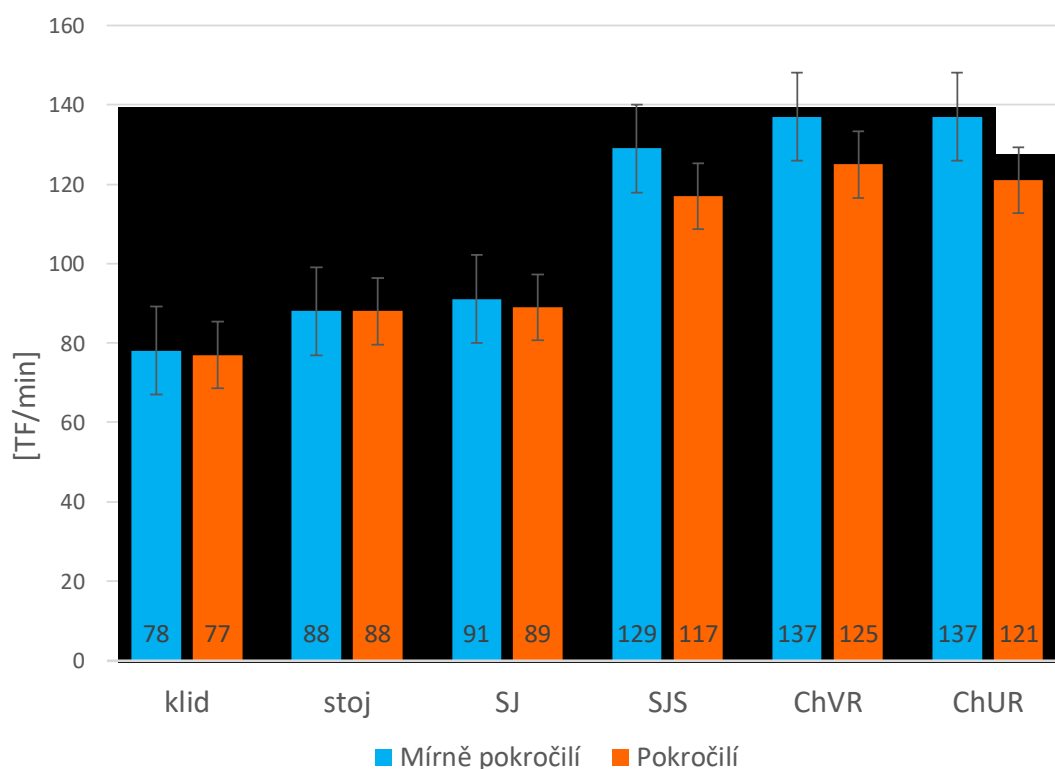
SF žen 139 tepů za minutu u SJS, 146 u ChVR a 147 u ChUR odpovídá hodnotám 68,8, 72,3 % a 72,8 % SFmax. SF mužů 118 tepů za minutu u SJS, 126 u ChVR a 123 u ChUR odpovídá hodnotám 62,8 %, 67,0 % a 65,4 % SFmax. Vážený aritmetický průměr SF mužů a žen u SJS byl na hodnotě 64,4 %, u ChVR byl na hodnotě 68,4 % a v testu ChUR 67,3 % SFmax. Zatížení na úrovni 60 – 80 % SFmax (vyvolává hluboké a zrychlené dýchání, což potvrzují další v této práci měřené kardiorespirační ukazatele) je považováno za střední intenzitu zatížení, udávají Janošková, Šeráková a Mužík (2018). ACSM (2014) za střední intenzitu zatížení považují 64 - 76% SFmax. Podle SF se všechny dílčí skupiny souboru pohybovaly v pásmu střední intenzity zatížení u všech

třech testů realizovaných na slackline, jen u SJS podle hodnocení ACSM (2014) byly naměřené hodnoty SF mužů mírně pod pásmem střední intenzity. V grafu 2 je možné vidět porovnání mírně pokročilých a pokročilých podle SF ve všech testech nezávisle na pohlaví. Rozdíly v SF mezi skupinami nejsou u žádného testu nad hladinou statistické významnosti. Graf 2 zobrazuje i standardní chybovost, která může vzniknout při měření sporttestem a vlivem výběru vzorku pro výběrové šetření.

V grafu 2 je možné vidět rozdíly naměřených hodnot SF pro obě skupiny, jež jsou podle výsledků Cohenova d a p-hodnoty sice statisticky nevýznamné, ale přesto mohou být pro porovnání obou skupin zajímavé. Hodnoty testu ChUR se zde přibližují statistické významnosti a cohenovo d dokonce ukazuje vysoký ES.

Graf 2

SF při jednotlivých testech - srovnání mírně pokročilých s pokročilými



3.5.4 Vliv rychlosti chůze na EE a SF

Pro zjištění vlivu rychlosti chůze na relativní EE a SF jsme museli soubor rozdělit na dvě skupiny. Rozdělení nijak nesouviselo s rozdělením podle dovedností na mírně pokročilé

a pokročilé. První skupinu tvořili ti účastníci studie ($n = 12$), kteří oproti testu ChVR museli v testu ChUR chodit vyšší rychlostí, aby dosáhli požadované konstantní rychlosti $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. V průměru zrychlili o $2,26 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Rozdíly v EE a SF u této skupiny v testech ChVR a ChUR nebyly statisticky významné ($p > 0,05$). Účastníci studie z druhé skupiny ($n = 7$) museli v druhém testu ChUR pro dosažení konstantní rychlosti $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ zpomalit. V průměru zpomalili o $4,29 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Snížení rychlosti chůze mělo statisticky významný vliv ($p < 0,05$) na EE a SF mezi testy ChVR a ChUR. Výsledky celého souboru ($n = 19$) jsme uvedli pro srovnání. Zde byl rozdíl v rychlostech jen $0,15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a odlišnosti v hodnotách EE a SF v testech ChVR a ChUR nebyly statisticky významné ($p > 0,05$).

Tabulka 8

Vliv rychlosti chůze na $EE\cdot kg^{-1}$ a SF

	v ChVR [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	v ChUR [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	EE $\cdot\text{kg}^{-1}$ ChVR [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	EE $\cdot\text{kg}^{-1}$ ChUR [$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	SF ChVR	SF ChUR
Zrychlili ($n = 12$)	11,28	13,54	0,441	0,448	137,9	138,3
Zpomalili ($n = 7$)	19,29	15,00	0,448*	0,390*	119,9*	114,0*
Celý soubor ($n = 19$)	14,23	14,08	0,444	0,427	131,3	129,4

* hodnoty mezi testy se statisticky významně liší ($p < 0,05$)

4 Diskuse

Cílem této studie bylo posoudit energetickou náročnost chůze na krátké slackline a zjistit, jak úroveň dovedností chůze na slackline a balanční schopnosti ovlivňují energetickou náročnost této koordinačně náročné pohybové aktivity.

Výzkumný soubor tvořily dvě skupiny účastníků studie – mírně pokročilí a pokročilí, jejichž porovnáním jsme zjišťovali, jaký vliv na energetickou náročnost má specifická schopnost balancovat na krátkém slackline. Tyto dvě skupiny slacklinerů jsme porovnali na základě EE, SF a V_E . Dále jsme porovnali energetickou náročnost stoje na jedné noze na pevné podložce se stojem na jedné noze na slackline.

Již byly zkoumány nejrůznější benefity chůze na slackline, např. ovlivnění rovnovážných schopností (MacKinnon & Winter, 1993), zlepšení posturální kontroly (Keller et al., 2011), transfer rovnovážných schopností získaných při chůzi na slackline do jiných sportovních odvětví i běžného života (Ringhof & Stein, 2018; Ringhof et al, 2019, Donath et al, 2013), vliv chůze na slackline na svalovou sílu dolních končetin (Granacher, Iten, Roth & Gollhofer, 2010), dokonce i vliv chůze na slackline na mozkový hypokampus (Hüfner et al, 2011), atd. Tato práce dosud získané poznatky o chůzi na slackline doplňuje o oblast energetické náročnosti, která u sportovních činností patří mezi velmi důležité.

Pro testování byl použit slackline od výrobce Equilibrium šíře 50 mm a délky přesně 10 m. Tento slackline byl poměrně silně vypnutý mezi dvěma stromy. Šíře popruhu při této délce není důležitý parametr (šíře popruhu kvůli své hmotnosti hraje významnou roli jen u velmi dlouhých slackline), nemá vliv na energetickou náročnost. Tato konfigurace je vhodná pro začátečníky, mírně pokročilé a ty, kteří při chůzi na lowline preferují více napnutý popruh nebo kteří se věnují disciplíně trickline. Naopak pro pokročilé slacklinery, kteří se věnují chůzi na longline, highline nebo rodeoline, byla tato konfigurace nevýhodná, podle jejich slov příliš „nastruněná“, rychlá, široká a nepohodlná. Za pád byla považována situace, kdy byl účastník studie v důsledku ztráty rovnováhy nucen dotknout se země nohou. Některé pády byly pouhým odražením se nohou od země a v druhé sekundě již pokračováním v chůzi po slackline. Jiné pády mohly znamenat i několik kroků stranou směrem od slackline, návrat a přelézání slackline na stranu, kde je slackliner zvyklý nastupovat a opětovné nastoupení. Neexistuje univerzální konfigurace slackline, která bude vyhovovat všem. Zvolili jsme takovou, která bude vyhovovat především méně pokročilým slacklinerům a předpokládali jsme, že pokročilí

slacklineři budou schopni přizpůsobit své schopnosti i takovéto konfiguraci, což se ve většině případů ukázalo jako správný předpoklad, ne však v plné míře ve všech případech. Dva účastníci studie nedokázali naplnit požadavek určené rychlosti v testu ChUR ($15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$), rychlost jejich chůze při ChUR oproti jejich rychlosti v testu ChVR byla však významně vyšší a přibližovala se určené rychlosti. Tito dva účastníci neovlivnili významně průměrnou rychlost celé skupiny, což potvrzuje i hodnota mediánu rychlosti celé skupiny, která jimi nebyla ovlivněna, zůstala na hodnotě $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Výsledky měření těchto dvou účastníků studie, kteří měli největší problémy s konfigurací slackline, jsme pro tuto práci vyhodnotili (i na základě správné korelace naměřených hodnot) jako platné a plnohodnotné. Testování na delší, povolenější a užší slackline by bylo jistě zajímavé, ale mohlo by znemožnit účast mírně pokročilých. Měření energetického výdeje při chůzi na longline by bylo vhodné navázání na tuto práci a výsledky by mohly být přínosné pro pokročilé slacklinery.

Pro dosažení určené rychlosti 15 m/min ve srovnání s vlastní rychlostí muselo 11 (7 ze skupiny mírně pokročilých, 4 ze skupiny pokročilých) účastníků studie zrychlit své tempo a 8 (3 ze skupiny mírně pokročilých a 5 ze skupiny pokročilých) bylo nuceno zpomalit.

Na rozdíl energetické náročnosti mírně pokročilé a pokročilé skupiny se může podílet i počet pádů. Každý pád znamená opětovné nastupování na slackline, což obnáší pohyb celého těla (vzhůru proti gravitační síle) vertikálním směrem – překonání výšky přibližně $35 - 65 \text{ cm}$, podle hmotnosti účastníka studie a místa, kde nastupoval (uprostřed je slackline po zatížení níže než u krajů a pod těžšími slacklinery se popruh více protáhne). Na druhou stranu snaha vyvarovat se pádu za každou cenu může být, soudě podle našeho pozorování a pocitů tázaných účastníků studie, energeticky velmi náročná, mnohdy možná náročnější než pád a opětovné nastoupení. Vliv pádů a opětovných nastupování na slackline na energetickou náročnost je třeba zjistit samostatným měřením.

Co se rozdělení do skupin týče, naším původním záměrem bylo použít tréninkové ukazatele (doba v letech, po kterou se chůzi na slackline věnují, počet tréninkových jednotek za poslední rok a délka slackline, kterou jsou aktuálně schopni přejít), na základě kterých bychom definovali mírně pokročilé a pokročilé. Bohužel nebyly nalezeny žádné souvislosti mezi tréninkovými ukazateli a výkony v jednotlivých testech a EE, SF nebo respiračními ukazateli. Důvodem je nejspíš různorodost disciplín v rámci chůze na slackline, kterým se účastníci věnují a vysoká míra specifčnosti schopností dynamické

rovnováhy a balančních testů, jak potvrzují např. Ringhof a Stein, 2018; Zech et al, 2018. Domníváme se, že čím kratší a čím více napnutý slackline je, tím rychlejší a o vyšší frekvenci jsou oscilace (oscilace při stoje na slackline, jak je vysvětlují Keller et al (2012)) po zatížení slacklinerem. Naopak čím delší a volnější je slackline, tím pomalejší a s nižší frekvencí jsou jeho oscilace, ale o to vyšší jsou nároky na přesnost vyrovnávacích pohybů. Proto může jeden slackliner být velmi pokročilým např. na longline, ale jen mírně pokročilý na krátké a silně napnuté lowline nebo trickline.

U všech účastníků studie jsme provedli 6 testů, z toho 3 měřily hodnoty EE mimo slackline (klid v sedu, stoj, stoj na jedné noze (střídavě L a P noha)) a 3 testy měřily činnosti na slackline (stoj na jedné noze (střídavě L a P noha), chůze vlastní rychlostí a chůze určenou rychlostí). Hodnoty EE chůze na slackline z testů ChUR jsme porovnali mezi sebou a hodnoty ChUR, které mají díky konstantní rychlosti chůze celého souboru vyšší výpovědní hodnotu, jsme konfrontovali s tabulkovými naměřenými hodnotami vyjádřených v MET (ACSM, 2014; Ainsworth, et al, 2011).

Test SJS jsme porovnali s testem SJ (test SJ zde posloužil jako referenční test) a s ChUR. Stoj na jedné noze je základní postavení na slackline, zároveň je technicky nejméně náročným, v metodické řadě podle Gabela a Mandoza (2014) je to první prvek, který se začátečníci učí. Energeticky je to nejméně náročný druh stoje na slackline a je méně náročný než chůze (graf 1).

Námi naměřené hodnoty EE ze sedu (klid) a stoje na pevné podložce (stoj) můžeme porovnat se studií Amaro-Gaheta et al (2019), která zjišťovala rozdíl v EE u lehu, sedu a stoje u souboru $n = 53$. Naměřené hodnoty v této studii jsou výrazně nižší. Pro sed zjistili hodnoty EE 4,98 kJ a pro stoj 5,52 kJ. Tento výrazný rozdíl od námi naměřených hodnot je způsoben převahou žen v jejich výzkumu a převahou mužů v našem výzkumu, nižší průměrnou rychlostí a přípravou a realizací měření. Amaro-Gahete et al (2019) na účastníky studie měli velmi přísné požadavky – 24 hodin neprovozovat žádnou fyzickou činnost a 48 hodin žádnou činnost vysoké intenzity, nekonzumovat kofein a dietní suplementy 24 hodin před měřením, nekonzumovat žádné jídlo 6 hodin před měřením. Před započítáním měření účastníci leželi 10 minut, aby se maximálně přiblížili klidovým hodnotám EE. Při měření v každé pozici setrvali po dobu 10 minut a výsledky byly odvozovány z posleních 5 minut každého měření. Oproti této studii naše měření mělo značné nedostatky. Naši účastníci studie byli požádáni, aby 4 hodiny předem

nekonsumovali žádná velká jídla a kofein a neprovozovali fyzickou aktivitu vysoké intenzity. Měření předcházelo jen asi 5 minut v klidovém stavu. Samotné měření klidových hodnot v sedu probíhalo po dobu 5 minut a byly použity hodnoty z poslední minuty. U všech dalších testů měření probíhalo po dobu 4 minut a všechny ventilační a respirační ukazatele i SF byly získávány z celých 4 minutových úseků zatížení u každého testu. EPOC (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption – zvýšená spotřeba kyslíku po cvičení) nebyl brán v potaz. Z tohoto důvodu jsou výsledky měření VO₂ a výsledky energetické náročnosti systematicky mírně podhodnoceny. U 8 z 19 účastníků studie byla zjištěna paradoxně vyšší EE u klidu v sedu než při stoji (rozdíl byl pod hladinou statistické i věcné významnosti). Toto může být způsobeno nepřesností měření nebo tím, že u měření klidových hodnot byl účastník studie něčím vyrušován, že ještě nedosáhl úplného zklidnění nebo nepohodlností použité dřevěné lavice. U celého souboru i jeho dílčích skupin však byly průměrné hodnoty EE testu klid vždy nižší než hodnoty testu stoj. Tento jev není nic neobvyklého, např. ve studii Amaro-Gaheta et al (2019), kde byla stanovena výrazně přísnější kritéria, k tomu došlo u 7 z 53 účastníků studie. U testu SJ byly u všech účastníků studie zjištěny vyšší hodnoty EE než u testů klid a stoj.

Jak již bylo řečeno, není nám známa práce, která by se zabývala energetickou náročností chůze na slackline. Z tohoto důvodu není možná naše poznatky porovnat s odpovídajícími, již existujícími studiemi. Výsledky našeho testu energetické náročnosti stoje na jedné noze na slackline je možné porovnat s již provedenými testy energetické náročnosti obyčejného stoje a stoje za různých ztížených podmínek. Náš test SJS lze považovat za test rovnovážných schopností za ztížených podmínek a mohl by tak posloužit k porovnání u jiných studií. Testy rovnovážných schopností za ztížených podmínek nebývají energeticky příliš náročné, není nám známa studie, která by prováděla podobný test, u kterého by byla EE oproti normálnímu stoji (nejčastější referenční test) více než dvojnásobná, jako tomu je u našeho SJS.

Námi změřená relativní energetická náročnost SJS oproti našemu referenčnímu testu SJ na pevné podložce byla významně vyšší. U mírně pokročilých vzrostla průměrně na 278 %, u pokročilých průměrně na 211 % a u celého souboru průměrně na 244 % hodnot EE z testu SJ.

Tyto výsledky můžeme porovnat s poznatky Houdijk et al (2010), kteří zjistili vliv různých typů ztížených rovnovážných podmínek na energetickou náročnost stoje. Stoj na

měkčím pěnovém bloku (rozměry 43 x 43 x 12,5 cm) je o 52 % energeticky náročnější než stoj na rovné pevné podložce s chodidly na šíři boků a stoj na rovné pevné podložce ve spojném postavení chodidel je o 40 % více náročný než stoj na rovné pevné podložce s chodidly na šíři boků (Houdijk et al, 2010). V jiném výzkumu Houdijk et al (2009) prokázali vliv tandemového stoje (chodidla za sebou na jedné přímce) na energetickou náročnost, nárůst byl o 24 %. Když u tohoto tandemového stoje měli účastníci studie navíc zavázané oči, energetická náročnost vzrostla dokonce o 60 %. V dalším testu této studie byla měřena energetická náročnost stoje měrného (opět s vizuální kontrolou) na kulaté balanční desce o průměru 60 cm se sférickou základnou (bosu), energetická náročnost se zvýšila o 56 % oproti hodnotám z referenčního testu.

Abychom naše výsledky mohli porovnat s jinými pohybovými aktivitami, např. s chůzí, s chůzí do schodů a s různými sportovními činnostmi, přepočítali jsme naměřené hodnoty EE do metabolického ekvivalentu MET (metabolic equivalent of task). Pro srovnání v MET jsme zvolili test ChUR, protože účastníci studie chodili konstantní rychlostí 15 m·min⁻¹. Hodnota MET u tohoto testu pro celý soubor (n = 19) byla 5,83, pro skupinu pokročilých (n = 10) 5,15 a pro skupinu mírně pokročilých (n = 9) 6,44. Zjištěné hodnoty jsou podle údajů ACSM (2014) na pomezí střední a vysoké intenzity. Nad 6 MET se hovoří o vysoké intenzitě (vigorous intensity), nad tuto hranici se dostala skupina mírně pokročilých slacklinerů. Tyto hodnoty lze přirovnat k tabulkovým hodnotám ACSM (2014) pro chůzi do schodů nebo do kopce. Hodnota MET platná pro celý soubor (n = 19; MET = 5,83) odpovídá hodnotě MET u chůze do schodů s výškou jednoho schodu 152 mm s frekvencí 30 schodů za minutu. MET u pokročilé skupiny odpovídá chůzi do schodů s výškou jednoho schodu 152 mm s frekvencí 26 schodů za minutu. MET u mírně pokročilé skupiny odpovídá chůzi do schodů s výškou jednoho schodu 203 mm s frekvencí 28 schodů za minutu nebo chůzi do schodů s výškou jednoho schodu 254 mm s frekvencí 24 schodů za minutu. Energetická náročnost chůze v MET byla u ACSM (2014) zjišťována jen do rychlosti 6 km·h⁻¹, ale byla zjišťována u stoupání 0 – 25 °. Hodnota MET platná pro celý soubor (n = 19; MET = 5,83) odpovídá hodnotě MET u chůze při 3,7 % stoupání rychlostí 6 km·h⁻¹, nebo u chůze při 15 % stoupání rychlostí 2,74 km·h⁻¹. Hodnota MET u mírně pokročilé skupiny odpovídá chůzi při 5 % stoupání rychlostí 6 km·h⁻¹. MET u pokročilé skupiny odpovídá chůzi při 2,5% stoupání rychlostí 6 km·h⁻¹.

Dále lze chůzi na slackline rychlostí $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ přirovnat k pomalému běhu rychlostí $6,44 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, bruslení na ledě rychlostí $14,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ nebo na kolečkových bruslích, jízdě na kole rychlostí $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, vodnímu lyžování nebo wakeboardingu, veslování nebo jízdě v kánoí rychlostí $6,4 - 9,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, plavání v dráze bazénu plaveckým stylem kraul s nízkým nebo středním úsilím, kulturistickému posilování s vysokým úsilím nebo lezení po skalách u cest nízké až střední obtížnosti (Ainsworth, et al, 2011).

Je důležité si uvědomit, že doporučení na objem tréninků chůze na slackline uváděné v jednotkách MET platí pro čistý čas strávený chůzí na slackline. V tomto sportu se celkový čas strávený provozováním aktivity zpravidla velmi liší od čistého času chůze na slackline. Když opomeneme instalaci slackline, tento rozdíl je často způsoben skutečností, že na jedné slackline se obvykle střídá více lidí. Z vlastní zkušenosti mohu říct, že pro slacklinera s dobrou fyzickou úrovní je limitující spíše psychická koncentrace než aerobní zdatnost. Časté přestávky, které se při chůzi na slackline dělají, jsou spíše od neustálé a nepřetržité koncentrace pozornosti, než od fyzické námahy.

5 Závěr

V tomto výzkumu jsme změřili energetickou náročnost chůze a stoje na slackline a získané hodnoty jsme porovnali s hodnotami naměřenými při klidovém sedu, stoji mírně rozkročným a stoji na jedné noze na pevné podložce. Také jsme porovnali dvě skupiny slacklinerů, mírně pokročilé a pokročilé, a výsledky ukázaly, že EE, SF a V_E při chůzi na slackline mají u mírně pokročilých významně vyšší hodnoty než u pokročilých slacklinerů.

Přepočítání EE na hodnoty MET ukázalo, že u mírně pokročilých slacklinerů se zvýší EE na téměř 6,5násobek klidových hodnot. U pokročilých slacklinerů se hodnoty EE zvýší na více než pětinásobek klidových hodnot. Dále jsme zjistili, že při stoji na jedné noze na slackline se EE oproti stoji na jedné noze na pevné podložce průměrně zvýší 2,8krát u mírně pokročilých a 2,1krát u pokročilých slacklinerů.

Aby bylo pomoci chůze na slackline splněna dolní hranice doporučení ACSM na minimální objem fyzické aktivity v $MET \geq 500 - 1000 \cdot \text{min} \cdot \text{týden}^{-1}$, musí se dospělý člověk této aktivitě věnovat minimálně 3 dny v týdnu po dobu 30 minut čistého času (518 $MET \cdot \text{min} \cdot \text{týden}$) nebo 2 dny v týdnu po dobu 45 minut čistého času. Pro splnění horní hranice tohoto doporučení minimálně 4 dny v týdnu po dobu 44 minut čistého času (1014 $MET \cdot \text{min} \cdot \text{týden}$).

Další bod doporučení ACSM na pohybové aktivity se týká pravidelných odporových tréninků všech velkých svalových skupin, neuromotorické cvičení zahrnující rovnováhy, agilitu a koordinaci. Z podstaty chůze na slackline je zřejmé, že tato aktivita splňuje požadavky na rovnováhu a koordinaci a předchozí výzkumy dokázaly významné zapojení svalů dolních končetin a svalů hlubokého stabilizačního systému, tedy i požadavky na trénink velkých svalových skupin jsou při této aktivitě alespoň částečně naplňovány.

Chůzi na slackline lze jako aktivitu střední intenzity zatížení doporučit k udržení nebo v určitých případech i ke zvýšení VO_2 a tím i k udržení nebo podpoření zdraví.

Jako navazující výzkum na tuto práci navrhujeme měření energetického výdeje při chůzi na highline ve srovnání s chůzi na lowline nebo longline. Při použití stejné konfigurace natažení slackline by tímto způsobem bylo možné změřit, jaký vliv na energetickou náročnost má samotná výška, v které se slackliner nachází při chůzi na highline. Dále je možné zkoumat vliv míry napnutí a délky slackline na energetickou náročnost aktivity.

Zajímavé a přínosné by bylo posoudit energetickou náročnost chůze na longline, highline a sestav prvků na trlicklin - disciplín chůze na slackline výkonnostního charakteru.

6 Bibliografie

1. Abitbol, M. M. (1988). Effect of posture and locomotion on energy expenditure. *American Journal of Physical Anthropology*, 77(2), 191–199. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330770207>
2. Adamkiewicz, E. (2001). *Recreational uses of the city and facilities*. *Agora*, 24, 57–62. Paříž: L'Harmattan
3. Ainsworth, B. E., et al. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(8), 1575–1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>
4. Alexandrov, A. V., Frolov, A., Horak, F., Carlson-Kuhta, P., & Park, S. (2005). Feedback equilibrium control during human standing. *Biological Cybernetics*, 93(5), 309–322. DOI: 10.1007/s00422-005-0004-1
5. Amaro-Gahete, F. J., Sanchez-Delgado, G., Alcantara, J. M. A., Martinez-Tellez, B., Acosta, F. M., Merchan-Ramirez, E., Löf, M., Labayen, I., & R. Ruiz, J. (2019). Energy expenditure differences across lying, sitting, and standing positions in young healthy adults. *PLOS ONE*, 14(6), e0217029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217029>
6. Anton, S. D., Duncan, G. E., Limacher, M. C., Martin, A. D., & Perri, M. G. (2011). How Much Walking Is Needed To Improve Cardiorespiratory Fitness? An Examination of the 2008 Physical Activity Guidelines for Americans. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. *National Institutes of Health*. 82(2), 365–370. <https://doi.org/10.1080/02701367.2011.10599766>
7. ACSM. (2011). Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. ACSM. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318213fefb
8. ACSM. (2014). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. American College of Sports Medicine. 9. vydání. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins
9. Baláž, J., Bedřich, P., Kalichová, M., & Zvonař, M. (2011). *Základy biomechaniky tělesných cvičení*. Brno: Masarykova univerzita.
10. Balcom, S. (2005). *Walk the Line: The Art of Balance and the Craft of Slackline*. Ashland, Oregon: Slack Daddy Press

11. Bartůňková, S., et al. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu
12. Bartůňková, S. (2014). *Fyziologie člověka a tělesných cvičení*. Praha: Karolinum
13. Bernaciková, M. (2012). *Fyziologie*. Brno: Masarykova univerzita
14. Bernaciková, M., Novotný, J., Siriški, D. (2017). *Praktická cvičení z fyziologie člověka pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy*. Brno: Masarykova univerzita
15. Bizovská, L., Janura, M., Míková, M., Svoboda, Z. (2017). *Rovnováha a možnosti jejího hodnocení*. Olomouc: Univerzita Palackého. DOI:10.5507/ftk.17.24452593
16. Bye, A., Røsjø, H., Aspenes, S. T., Condorelli, G., Omland, T., & Wisløff, U. (2013). Circulating MicroRNAs and Aerobic Fitness – The HUNT-Study. *PLOS ONE*, 8(2), e57496. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057496>
17. Cappa, P., Di Rosa, G., & Patanè, F. (2005). A continuous loading apparatus for measuring three-dimensional stiffness of ankle-foot orthoses. *Journal of Biomechanical Engineering*, 127(6), 1025–1029. doi: 10.1115/1.2049313
18. Chien, J. H., Eikema, D. J., Mukherjee, M., & Stergiou, N. (2014). Locomotor sensory organization test: a novel paradigm for the assessment of sensory contributions in gait. *Annals of biomedical engineering*, 42(12), 2512–2523. <https://doi.org/10.1007/s10439-014-1112-7>
19. Cortex. Metamax® 3B: *The spiroergometry solution for mobile use* [online]. <http://cortex-medical.de/EN/METAMAX-3B-en.htm>
20. Curtis, H., & Braga, L. (2018). Slacklining in Physical Education: A Nontraditional Approach to Balancing Children's Body and Mind. *Strategies*, 31(2), 54–56. <https://doi.org/10.1080/08924562.2018.1418573>
21. Deuster, P. A., & Heled, Y. (2008). Chapter 41 - Testing for Maximal Aerobic Power. *The Sports Medicine Resource Manual*. 520-528. <https://doi.org/10.1016/B978-141603197-0.10069-2>
22. Donath, L., Roth, R., Ruegge, A., Groppa, M., Zahner, L., & Faude, O. (2013). Effects of slackline training on balance, jump performance & muscle activity in young children. *International journal of sports medicine*, 34(12), 1093–1098. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1337949>
23. Donath, L., Roth, R., Zahner, L., & Faude, O. (2017). Slackline Training (Balancing Over Narrow Nylon Ribbons) and Balance Performance: A Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 47(6), 1075–1086. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0631-9>

24. Donelan, J. M., Kram, R., & Kuo, A. D. (2001). Mechanical and metabolic determinants of the preferred step width in human walking. *The Royal Society: Biological Sciences*, 268(1480), 1985–1992. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1761>
25. Donelan, J. M., Shipman, D. W., Kram, R., & Kuo, A. D. (2004). Mechanical and metabolic requirements for active lateral stabilization in human walking. *Journal of Biomechanics*, 37(6), 827–835. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.06.002>
26. Dordevic, M., Hökelmann, A., Müller, P., Rehfeld, K., & Müller, N. G. (2017). Improvements in Orientation and Balancing Abilities in Response to One Month of Intensive Slackline-Training. A Randomized Controlled Feasibility Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00055>
27. Dovalil, J. (2009). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia
28. Fernández-Rio, J., Santos, L., Fernández-García, B., Robles, R., Casquero, I., & Paredes, R. (2019). Effects of Slackline Training on Acceleration, Agility, Jump Performance and Postural Control in Youth Soccer Players. *Journal of human kinetics*, 67, 235–245. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0078>
29. Fontana, J., et al. (2013). *Funkce buněk a lidského těla*. <http://fbt.cz/skripta/regulacni-mechanismy-2-nervova-regulace/4-synapticky-prenos/>
30. Gabel, C. P. (2014). Slacklining: A Novel Exercise to Enhance Quadriceps Recruitment, Core Strength and Balance Control. *Journal of Novel Physiotherapies*, 04(05). <https://doi.org/10.4172/2165-7025.1000229>
31. Gabel, C. P., Osborne, J., & Burkett, B. (2015). The influence of ‘Slacklining’ on quadriceps rehabilitation, activation and intensity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1),62-66. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.11.007>
32. Gabel, C. P., & Mendoza, S. (2013). Slacklining for Lower Extremity Rehabilitation and Injury Prevention. *Human Kinetics Journals*, 18(4),14-19. <https://doi.org/10.1123/ijatt.18.4.14>
33. Gibbon Slacklines. *Slackfit*. <https://www.gibbon-slacklines.com/en/fitness/>
34. Giboin, L. S., Gruber, M., & Kramer, A. (2018). Three months of slackline training elicit only task-specific improvements in balance performance. *PLOS ONE*, 13(11), e0207542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207542>

35. Granacher, U., Iten, N., Roth, R., & Gollhofer, A. (2010). Slackline training for balance and strength promotion. *International journal of sports medicine*, *31*(10), 717–723. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1261936>
36. Gupta, R. D., Ramachandran, R., Venkatesan, P., Anoop, S., Joseph, M., & Thomas, N. (2017). Indirect Calorimetry: From Bench to Bedside. *Indian journal of endocrinology and metabolism*, *21*(4), 594–599. https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM_484_16
37. Guerraz, M., & Bronstein, A. M. (2008). Ocular versus extraocular control of posture and equilibrium. *Neurophysiologie Clinique*, *38*(6), 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.09.007>
38. Herdman, S. J. (2000). *Vestibular rehabilitation* (2. vydání). Philadelphia: Davis Company
39. Holm, I., Fosdahl, M. A., Friis, A., Risberg, M. A., Myklebust, G., & Steen, H. (2004). Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, *14*(2), 88–94. <https://doi.org/10.1097/00042752-200403000-00006>
40. Houdijk, H., Fickert, R., van Velzen, J., & van Bennekom, C. (2009). The energy cost for balance control during upright standing. *Gait & posture*, *30*(2), 150–154. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.05.009>
41. Houdijk, H., Ter Hoeve, N., Nooijen, C., Rijntjes, D., Tolsma, M., & Lamoth, C. (2010). Energy expenditure of stroke patients during postural control tasks. *Gait & Posture*, *32*(3), 321–326. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.05.016>
42. Houdijk, H., Brown, S. E., & Van Dieën, J. H. (2015). Relation between postural sway magnitude and metabolic energy cost during upright standing on a compliant surface. *Journal of Applied Physiology*, *119*(6), 696–703. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00907.2014>
43. Hwang, S., Agada, P., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2014). Dynamic Reweighting of Three Modalities for Sensor Fusion. *PLOS ONE*, *9*(1), e88132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088132>
44. Hüfner, K., Binetti, C., Hamilton, D. A., Stephan, T., Flanagan, V. L., Linn, J., Labudda, K., Markowitsch, H., Glasauer, S., Jahn, K., Strupp, M., & Brandt, T. (2010). Structural and functional plasticity of the hippocampal formation in

- professional dancers and slackliners. *Hippocampus*, 21, 855-865.
<https://doi.org/10.1002/hipo.20801>
45. Chavaroche, L. (2018). Logics of slackline practices. *Staps*, 3(3), 77-91.
<https://doi.org/10.3917/sta.121.0077>
46. ISA. (2019, 21. srpen). *What is slacklining*. International Slackline Association.
<http://www.slacklineinternational.org/what-is-slacklining/>
47. Janošková, H., Šeráková, H., & Mužík, V. (2018). *Zdravotně preventivní pohybové aktivity*. Brno: Masarykova Univerzita
48. Jebavý, R. (2014). *Posilování s balančními pomůckami*. Praha: Grada Publishing
49. Jenks, R. (2020, 12. červen). *Ancient Greek and Roman Rope-Walkers | The History of Slack*. HowNOTtoHighline. <https://www.slackline.com/post/ancient-greek-and-roman-rope-walkers-the-history-of-slack>
50. Jones, S., Jones, T., Mills, K., & Gaines, G. (2009). Anatomical and Physiological Considerations in Vestibular Dysfunction and Compensation. *Seminars in Hearing*, 30(04), 231–241. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1241124>
51. Keller, M., Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Müller, E., & Taube, W. (2012). Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22(4), 471–477.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01268.x>
52. Khadir, S. A., Boitselier, E., Gedamkar, G., Lowe, R., & Jackson, K. (2021, 21. března). *Balance*. Physiopedia. <https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Balance&oldid=269017>
53. Khan, S., & Chang, R. (2013). Anatomy of the vestibular system: a review. *NeuroRehabilitation*, 32(3), 437-443. doi: 10.3233/NRE-130866
54. Kittnar, O., et al. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing
55. Kohoutek, M. (2005). *Koordinační schopnosti dětí: výsledky čtyřletého longitudinálního sledování vývoje vybraných somatických a motorických předpokladů dětí ve věku 8-11 let*. Praha: FTVS UK
56. Kosečková, P. (2018). *Energie a pohyb*. Brno: Lékařská fakulta Masarykovy univerzity
57. Kroiß, A. (2007). *Der Trendsport Slackline und seine Anwendungsmöglichkeiten im Schulsport. Schriftliche Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien*. München: Technische Universität
58. Kuchařová, A. H. (2020). *Od slackline k tiché radosti*. Brno: Jota

59. Kumstát, M., & Hrnčířiková, I. (2012). *Fyziologie výživy*. Brno: Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity
60. Leckert, O. (2014, 5. Listopad). *An Abridged History of Funambulists*. Atlas Obscura. <https://www.atlasobscura.com/articles/an-abridged-history-of-funambulists#:~:text=Funambulism%20dates%20back%20at%20least,part%20of%20the%20Olympic%20Games>
61. Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., Háp, P., Bělka, J. & Neuls, F. 2014. *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci
62. Longhurst, A. S. (2019, 15. července). *What Is Proprioception, and Why Is It so Important?*. Healthline. <https://www.healthline.com/health/body/proprioception>
63. Lowe, T. (2021, 9. dubna). *Slacklining in rehabilitation*. Physiopedia. https://www.physio-pedia.com/Slacklining_in_rehabilitation
64. Mackinnon, C. D., & Winter, D. A. (1993). Control of whole body balance in the frontal plane during human walking. *Journal of Biomechanics*, 26(6), 633–644. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90027-c](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90027-c)
65. Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén
66. Maďa, P. (2014). *Funkce buněk a lidského těla*. <http://fb.lt.cz/skripta/regulacni-mechanismy-2-nervova-regulace/8-motoricke-funkce/>
67. Mason, P. (2017, 27. září). *Vestibular Motor Reflexes* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=ZRVLcvTsEtc&t=230s&ab_channel=UChicagoOnline
68. Matarese, L. E. (1997). Indirect Calorimetry. *Journal of the American Dietetic Association*, 97(10), 154–160. [https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(97\)00754-2](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(97)00754-2)
69. McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T., & Levenson, G. (2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 10(4), 239–244. <https://doi.org/10.1097/00042752-200010000-00003>
70. Merkunová, A. & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Praha: Grada Publishing
71. Moonen, H. P. F. X., Beckers, K. J. H., & Van Zanten, A. R. H. (2021). Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current

- evidence and practical considerations. *Journal of Intensive Care*, 9(1).
<https://doi.org/10.1186/s40560-021-00524-0>
72. Mourek, J. (2012). *Fyziologie: Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada Publishing
73. Novotec Medical GmbH. (n.d.). *Selection of the appropriate frequency for Galileo® Training*. <https://www.galileo-training.com/uk-english/products/galileo-training-devices/background-vibration-training/frequencies.html>
74. Paoletti, P., & Mahadevan, L. (2012). Balancing on tightropes and slacklines. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(74), 2097–2108.
<https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0077>
75. Patková, A. (2018). *Aplikace nepřímé kalorimetrie u dvou různých inzulinorezistentních stavů – polytraumatů a gravidity*. [Disertační práce, Univerzita Karlova]. Repozitář závěrečných prací UK.
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/102987>
76. Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>
77. Peterson, G. (2017, 6. červenec). *Slackline Fitness Is the Next Big Thing in Workout Trends*. Gunnar. <http://gunnarpeterson.com/slackline-fitness-next-big-thing-workout-trends/>
78. Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada Publishing
79. Pfusterschmied, J., Stöggel, T., Buchecker, M., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2013). Effects of 4-week slackline training on lower limb joint motion and muscle activation. *Journal of science and medicine in sport*, 16(6), 562–566.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.006>
80. Pozzo, T., Berthoz, A., & Lefort, L. (1990). Head stabilization during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects. *Experimental brain research*, 82(1), 97–106. <https://doi.org/10.1007/BF00230842>
81. Pozo-Cruz, B., Hernández Mocholí, M., Adsuar, J., Parraca, J., Muro, I., & Gusi, N. (2011). Effects of whole body vibration therapy on main outcome measures for chronic non-specific low back pain: A single-blind randomized controlled trial. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 43(8), 689–694.
<https://doi.org/10.2340/16501977-0830>

82. Raynor, C. (2019, 11. prosince). *Health benefits of slacklining: Quad Activation & Leg Strength* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=CU5-7inY3C4&ab_channel=Human2.0Fitness
83. Reynard, F., & Terrier, P. (2015). Role of visual input in the control of dynamic balance: variability and instability of gait in treadmill walking while blindfolded. *Experimental Brain Research*, 233(4), 1031–1040. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4177-5>
84. Ringhof, S., & Stein, T. (2018). Biomechanical assessment of dynamic balance: Specificity of different balance tests. *Human movement science*, 58, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.02.004>
85. Ringhof, S., Zeeb, N., Altmann, S., Neumann, R., Woll, A., & Stein, T. (2019). Short-term slackline training improves task-specific but not general balance in female handball players. *European journal of sport science*, 19(5), 557–566. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1534992>
86. Robergs, R. A., Dwyer, D., & Astorino, T. (2010). Recommendations for Improved Data Processing from Expired Gas Analysis Indirect Calorimetry. *Sports Medicine*, 40(2), 95–111. <https://doi.org/10.2165/11319670-000000000-00000>
87. Rodenkirch, T. (2012). *Verbesserung der Konzentrationsfähigkeit mittels Slacklinetraining*, Zürich. [Diplomová práce, ETH Zürich]. Department Gesundheitswissenschaften und Technologie
88. *The advantages of slackfit*. Gibbon-slacklines. <https://www.gibbon-slacklines.com/en/fitness/>
89. Santos, L., Fernandez-Rio, J., Winge, K., Barragán-Pérez, B., Rodríguez-Pérez, V., González-Díez, V., Blanco-Traba, M., Suman, O. E., Philip Gabel, C., & Rodríguez-Gómez, J. (2017). Effects of supervised slackline training on postural instability, freezing of gait, and falls efficacy in people with Parkinson's disease. *Disability and Rehabilitation*, 39(16), 1573–1580. <https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1207104>
90. Scariot, V. (2016). Both anticipatory and compensatory postural adjustments are adapted while catching a ball in unstable standing posture. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 20(1), 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.06.007>
91. Schärli, A. M., Keller, M., Lorenzetti, S., Murer, K., & Van De Langenberg, R. (2013). Balancing on a Slackline: 8-Year-Olds vs. Adults. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00208>

92. Scott, J. (2020, 27. červenec). How to Boost Your Energy Expenditure. *Verywellfit*.
<https://www.verywellfit.com/what-is-energy-expenditure-3496103#:~:text=Energy%20expenditure%20is%20the%20amount,calories%20you%20burn%20each%20day>
93. Schärli, A. M., Keller, M., Lorenzetti, S., Murer, K., & Langenberg, R. (2013). Balancing on a Slackline: 8-Year-Olds vs. Adults. *Frontiers in psychology*, 4, 208.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00208>
94. She, J., Nakamura, H., Makino, K., Ohya, Y., Hashimoto, H., & Wu, M. (2013). Experimental Selection and Verification of Maximum-Heart-Rate Formulas for Use with Karvonen Formula. *ICINCO*, 1, 536-541. DOI: 10.5220/0004426905360541
95. Sherrman, W., D. Morris, et al. (1998). Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac-R3D) to measure energy expenditure during ambulation. *International Journal of Sports Medicine* 19: 43-47.
96. Shorter, K. A., Wu, A., & Kuo, A. D. (2017). The high cost of swing leg circumduction during human walking. *Gait & posture*, 54, 265–270.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.03.021>
97. Slackline.co.uk. (nedatováno). *Trickline or Slackline, Which Type of Line Do I Need?*. Načteno z slackline.co.uk. <https://slackline.co.uk/types-of-line/>
98. Slackshop.cz. (nedatováno). *EQB Skye2*. Načteno z Slackshop.cz. <https://www.slackshop.cz/cs/metraz/175-eqb-skye2.html>
99. Soest, A. J. K., Haenen, W. P., & Rozendaal, L. A. (2003). Stability of bipedal stance: the contribution of cocontraction and spindle feedback. *Biological Cybernetics*, 88(4), 293–301. <https://doi.org/10.1007/s00422-002-0382-6>
100. Stelmach, G. E. & Worringham C. J. (1985). Sensorimotor deficits related to postural stability. Implications for falling in the elderly. *Clin Geriatr Med*. 1(3), 679-94. PMID: 3913516
101. Strejcová, B., Šimková, L., & Baláš, J. (2013). The association between ankle strength, postural stability and regular slacklining. *Journal of Outdoor Activities*, 7(1). 40-43
102. Struhár, I., Novotný, J., Bernaciková, M., Kapounková, K., Pospíchal, V., & Tomášková, I. (2019). *Zátěžová diagnostika v tělovýchovné a sportovní praxi*. Brno: Masarykova univerzita
103. Šinkovský, R., & Dušková, P. (2013). Issues of use of slackline in physical education. *Journal of Outdoor Activities*, 7(1). 48-54

104. Tomomitsu, M. S., Alonso, A. C., Morimoto, E., Bobbio, T. G., & Greve, J. M. (2013). Static and dynamic postural control in low-vision and normal-vision adults. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*, 68(4), 517–521. [https://doi.org/10.6061/clinics/2013\(04\)13](https://doi.org/10.6061/clinics/2013(04)13)
105. Venkatramani, S. (2018, 10. leden). A History of Slacklining and its Health Benefits. *Advensure*. <https://medium.com/advensure/a-history-of-slacklining-and-its-health-benefits-4f9e3e238aa6>
106. Vision Professionals. (2020, 8. května). *Dizziness and Balance: How Vision Plays a Vital Role*. <https://www.visionprofessionals.net/2020/03/08/dizziness-and-balance-how-vision-plays-a-vital-role/>
107. Volery, S., Singh, N., De Bruin, E. D., List, R., Jaeggi, M. M., Mattli Baur, B., & Lorenzetti, S. (2017). Traditional balance and slackline training are associated with task-specific adaptations as assessed with sensorimotor tests. *European Journal of Sport Science*, 17(7), 838–846. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1317833>
108. Wezenberg, D., Haan, A., Van Bennekom, C. A. M., & Houdijk, H. (2011). Mind your step: Metabolic energy cost while walking an enforced gait pattern. *Gait & Posture*, 33(4), 544–549. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.01.007>
109. WJEC CBAC LTD. 2016. Energy systems and their application to training principles. http://resource.download.wjec.co.uk.s3.amazonaws.com/vtc/2015-16/15-16_30/eng/02-during-the-game/Unit2-energy-systems-and-their-application%20.html#
110. WikiSkripta. (2019, 17. března). *Zrak*. <https://www.wikiskripta.eu/w/Zrak>
111. Williams, L. (2020, 25. listopadu). Strength-Building Balance Exercises to Try on a Slackline. *Verywellfit*. <https://www.verywellfit.com/strength-and-balance-exercises-on-a-slackline-4163819>
112. WHO, Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med* 54, 1451–1462. doi:10.1136/bjsports-2020-102955
113. Zahradník, D., & Korvas, P. (2012). *Základy sportovního tréninku*. Brno: Masarykova Univerzita
114. Zech, A., Meining, S., Hötting, K., Liebl, D., Mattes, K., & Hollander, K. (2018). Effects of barefoot and footwear conditions on learning of a dynamic balance task: a randomized controlled study. *European Journal of Applied Physiology*, 118(12), 2699–2706. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3997-6>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma instalace slackline mezi dvěma stromy pomocí ráčny a kotvícího šeklu. Strana 14.

Schéma instalace [ilustrace]. Kuchařová, A. H. (2020). *Od slackline k tiché radosti*.

Brno: Jota

Seznam grafů

Graf 1: Srovnání mírně pokročilých a pokročilých ve SJ, SJS a ChUR pomocí relativní energetické náročnosti. Strana 62.

Graf 2: SF při jednotlivých testech - srovnání mírně pokročilých s pokročilými. Strana 64.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Čtyř fázový protokol progresivní metodické řady podle Gabela a Mendoza (přeloženo autorem práce), strana 17.

Gabel, C. P., & Mendoza, S. (2013). Slacklining for Lower Extremity Rehabilitation and Injury Prevention. *Human Kinetics Journals*, 18(4),14-19.

<https://doi.org/10.1123/ijatt.18.4.14>

Tabulka 2: Vliv délky trvání a intenzity pohybové činnosti na zapojení energetických systémů, strana 37.

Zahradník, D. & Korvas, P. 2012. Vliv délky trvání činnosti a intenzity na to, který energický systém bude využit jako primární. [tabulka].

<https://publi.cz/books/51/index.html?secured=false#05>

Tabulka 3: Vztah mezi % spotřeby kyslíku (VO₂max), % maximální tepové rezervy (MTR) a % maximální srdeční frekvence (SFmax), strana 45.

Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., Háp, P., Bělka, J. & Neuls, F. 2014. *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

[tabulka].

Tabulka 4: Průměrné naměřené hodnoty ve všech testech u mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru. Strana 60.

Tabulka 5: Energetická náročnost v $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ u skupin mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru v různých testech. Strana 61.

Tabulka 6: EV v $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ u skupin mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru v různých testech. Strana 61.

Tabulka 7: Energetická náročnost testů na slackline v MET u mírně pokročilých, pokročilých a celého souboru. Strana 63.

Tabulka 8: Vliv rychlosti chůze na EE $\cdot\text{kg}^{-1}$ a SF. Strana 65.

Seznam příloh

Příloha 1: Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

Příloha 2: Informovaný souhlas

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešleslavin

Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Energetická náročnost chůze na slackline

Forma projektu: výzkumná práce - diplomová práce

Období realizace: květen 2021 – červen 2021

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

Předkladatel: Jan Klaus, Bc., UK FTVS, katedra sportů v přírodě

Hlavní řešitel: Jan Klaus, Bc., UK FTVS, katedra sportů v přírodě

Místo výzkumu (pracoviště): Areál FTVS, venkovní prostor mezi bloky A a B.

Spoluřešitel(é): -

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

Finanční podpora: -

Popis projektu: Cílem této experimentální práce je posoudit energetickou náročnost chůze na slackline. Dalšími cíli je zjistit, o kolik se při chůzi na slackline zvýší energetický výdej u mírně pokročilých a o kolik u více pokročilých, a zdali je chůze na slackline vhodným prostředkem pro zvyšování aerobní výkonnosti. Účastníci budou mít za úkol s nasazeným analyzátozem dýchacích plynů stát v klidu na zemi po dobu 8 minut, stát na jedné noze na slackline po dobu 4 minut a chodit na slackline po dobu dohromady 8 minut. Celková doba měření, bude 37 minut, z čehož klidový stav (odpočinek, zklidnění organismu) bude tvořit 17 minut.

Charakteristika účastníků výzkumu: Předpokládaný počet účastníků bude cca 20 ve věku 18-50 let. Účastníci budou vybíráni z řad studentů FTVS i ze sportovní veřejnosti pomocí poptávky na sociálních sítích. Účastníci výzkumu budou vybíráni na základě minimálních dovednostních požadavků, kterými budou zvládnutí přejítí 15 m dlouhé slackline a schopnost balancovat na slackline ve stoji po dobu jedné minuty.

Účastníci výzkumu budou mít platnou zdravotní prohlídku.

Na základě naměřených dat budou účastníci výzkumu rozděleni do dvou skupin – mírně pokročilí a pokročilí.

Zkoumaná fyzická aktivita neklade žádné vysoké nároky na organismus ani jiné vysoké nároky.

Do projektu nemůže být zařazen proband, který bude mít zranění, akutní, zejména infekční onemocnění, proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu nebo proband s poruchou rovnováhy.

Zajištění bezpečnosti: Pro zajištění bezpečnosti bude slackline ukotvena v těsné blízkosti země, cca 40cm vysoko. Slackline bude ukotvena nad měkkým, travnatým povrchem. Jedná se o neinvazivní metodu. Samotnému měření bude předcházet důkladné rozcvičení. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost probandů při výzkumu bude zajištěna standardními bezpečnostními podmínkami za přítomnosti hlavního řešitele a vedoucího práce.

Etické aspekty výzkumu: Výzkumu se nebudou účastnit vulnerabilní jedinci.

Potenciální střet zájmů: Hlavní řešitel ani vedoucí práce nemají žádný soukromý zájem na výsledku výzkumu, který by mohl vést k jakémukoli osobnímu prospěchu. Není nám známa žádná skutečnost, která by mohla ohrozit integritu a důvěryhodnost výzkumu nebo ovlivnit jeho objektivitu. Nemám soukromý zájem na výsledku výzkumu a ani výzkum nevede k osobnímu prospěchu.

Ochrana osobních dat: Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, rok a měsíc narození (za účelem výpočtu věku), tělesná hmotnost a tělesná výška, data získaná výše uvedenými metodami - které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít hlavní řešitel.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby - budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Pořizování fotografií účastníků: Anonymizace osob na fotografiích bude provedena začerněním/rozmažáním obličejů či částí těla, znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince. Neanonymizované fotografie budou uloženy v heslem zajištěném počítači řešitele v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít výhradně hlavní řešitel a budou bezprostředně do 1 týdne po vyfotografování osob smazány. Publikovány budou pouze anonymizované fotografie. Získané fotografie budou sloužit výhradně k ilustračním účelům v diplomové práci.

Pořizování /videí/audio nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné audionahrávky ani videozáznamy.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Text informovaného souhlasu (IS): 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: 19. 5. 2021

Podpis předkladatele:

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

Vyjádření Etické komise UK FTVS

Složení komise: Předsedkyně: doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

Členové: prof. MUDr. Jan Heller, CSc.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 135/2021

dne: 21. 5. 2021

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a neshledala rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6

– 20 –

podpis předsedkyně EK UK FTVS

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů 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 biomedicině č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci diplomové práce s názvem Energetická náročnost chůze na slackline prováděné na UK FTVS, katedře Sportů v přírodě, ve venkovním prostoru areálu FTVS mezi bloky A a B.

Projekt bude probíhat v květnu 2021 – červnu 2021.

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

Cílem výzkumného projektu je posoudit energetickou náročnost chůze na slackline a zjistit, jak dovednostní úroveň chůze na slackline a balanční schopnosti ovlivňují energetický výdej při této pohybové činnosti, a zdali je chůze na slackline vhodným prostředkem pro zvyšování aerobní výkonnosti.

Budete se účastnit výzkumu energetického výdeje při chůzi na slackline. Vaším úkolem bude s nasazeným analyzátozem dýchacích plynů:

1. stát na zemi na obou nohách po dobu 4 minut.
2. Stát na zemi střídavě na levé a pravé noze (střídání po 20 s) po dobu 4 minut.
3. Stát na slackline střídavě na levé a pravé noze (střídání po 20 s) po dobu 4 minut.
4. Přecházet slackline tam a zpět vlastním tempem po dobu 4 minut.
5. Přecházet slackline tam a zpět určeným, přiměřeným tempem po dobu 4 minut.

Slackline bude natažená nízko nad zemí, přibližně 40 cm vysoko, jeho délka bude 10 m a šířka 5 cm. Jednotlivé čtyřminutové zátěže budou od sebe odděleny čtyřminutovými odpočinkovými (návrat do klidového stavu). Celková doba měření i se zjišťováním klidového metabolismu bude 37 minut. Z toho celková doba zátěže bude 20 minut a doba odpočinku 17 minut. Zátěž bude mírná, nízké až střední intenzity.

Stanovení energetického výdeje proběhne metodou nepřímé kalorimetrie. Na základě výměny dýchacích plynů se bude měřit srdeční frekvence, spotřeba O₂, minutové plicní ventilace, dechová frekvence, dechový objem a respirační koeficient. Charakter měření bude neinvazivní. Před samotným měřením budete seznámeni s průběhem měření a vyzváni vyplnění krátkého dotazníku. Dotazník bude zahrnovat osobní údaje (jméno, datum narození, tělesná hmotnost a výška) a informace týkající se Vašich zkušeností s chůzí na slackline.

Během chůze na slackline budete mít nasazený metabolický analyzátor o hmotnosti 1,4 kg, dýchat budete skrz obličejovou masku, která neomezuje dýchání ani zrak. Celkové trvání pohybového programu a měření bude 37 minut. Celková časová náročnost projektu nepřesáhne 45 minut. Testování je jednorázové.

Způsob zásahu bude neinvazivní.

Samotnému měření bude předcházet Vaše důkladné rozcvičení. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Vaše bezpečnost při výzkumu bude zajištěna standardními bezpečnostními podmínkami za přítomnosti hlavního řešitele a vedoucího práce. Slackline bude umístěný 40 cm nad zemí – měkkým travnatým povrchem.

Používání metabolického analyzátoru nepřináší žádná rizika ani nepohodlí. Výzkum bude probíhat za dodržení všech hygienických opatření a s maximální možnou prevencí před nákazou virem SARS-COV-2 (nošení respirátorů, dezinfekce všeho použitého náčiní, desinfekce metabolického analyzátoru a obličejové masky). Nebudete se muset potkávat s ostatními účastníky výzkumu, což sníží počet sociálních kontaktů.

Do projektu nemůže být zařazen proband, který bude mít zranění, akutní zejména infekční onemocnění nebo proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu nebo trpící poruchami rovnováhy.

Pro účast v projektu nejsou žádné kontraindikace a není nutné lékařské posouzení.

Samotnému měření bude předcházet poučení a rozcvičení pro danou pohybovou aktivitu.

Přínosem tohoto výzkumného projektu pro Vás bude seznámení se s metodami měření energetického výdeje a později s výsledky výzkumu. Na Vaši žádost Vám budou sděleny Vaše vlastní konkrétní naměřené hodnoty, které můžete využít např. při plánování vlastních tréninků. Naměřené hodnoty Vám mohou pomoci určit vlastní intenzitu zátěže vhodnou např. pro spalování tuků během pohybové zátěže.

Účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocena.

S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit v diplomové nebo na emailové adrese: honzaklaus@gmail.com

Ochrana osobních dat: Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, rok a měsíc narození, tělesná hmotnost a výška, data získaná výše uvedenými metodami - která budou bezpečně uchována na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít hlavní řešitel. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby - budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Pořizování fotografií účastníků: Anonymizace osob na fotografiích bude provedena začerněním/rozmažáním obličejů či částí těla, znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince. Neanonymizované fotografie budou uloženy v zaheslovaném počítači řešitele v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít výhradně hlavní řešitel a budou bezprostředně do 1 týdne po vyfotografování osob smazány. Publikovány budou pouze anonymizované fotografie. Získané fotografie budou sloužit výhradně k ilustračním účelům v diplomové práci.

Pořizování /videí/audio nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné audionahrávky ani videozáznamy

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu: Jan Klaus

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Jan Klaus 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. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum

Jméno a příjmení účastníka Podpis: