

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**VARIABILITA POHYBU TRUPU A HORNÍCH
KONČETIN PŘI STATICKÝCH A DYNAMICKÝCH
ÚLOHÁCH U POKROČILÝCH SLACKLINERŮ**

Diplomová práce

Autor: Vilém Riedel

Studijní program: učitelství tělesné výchovy – učitelství přírodopisu a
enviromentální výchovy

Vedoucí práce: doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Olomouc 2022

Bibliografická identifikace**Jméno autora:** Vilém Riedel**Název práce:** Variabilita pohybu trupu a horních končetin při statických a dynamických úlohách pokročilých slacklinerů**Vedoucí práce:** doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii**Rok obhajoby:** 2022**Abstrakt:**

Předkládaná diplomová práce se zabývá porovnáním pohybu trupu a horních končetin při statických a dynamických úlohách na slackline u skupin pokročilých a méně zkušených slacklinerů. Obě úlohy byly realizovány na slackline setu EQB 20 m o šířce 50 mm a pracovním zatížení 5 kN. Zrychlení a úhlová rychlost na vybraných místech těla byla zaznamenána pomocí inerciálních senzorů (Trigno Wireless System, Delsys Inc., Boston, MA). Statisticky významné rozdíly mezi skupinami jsme pozorovali zejména u chůze, kde byla nižší variabilita pohybu segmentu pravé paže, pravého předloktí a trupu v oblasti Th3 a také nižší variabilitu úhlového zrychlení trupu v oblasti Th3 u pokročilých slacklinerů. Tyto skutečnosti poukazují na vyšší úroveň stability pokročilých slacklinerů. Těchto výsledků slacklineři dosahují pravděpodobně díky lepším rovnovážným strategiím, efektivnějšímu zpracování kvalitnějších senzomotorických informací v CNS a lepší celkové koordinaci.

Klíčová slova:

Slackline, variabilita pohybu, rovnováha, statická, dynamická, trup, horní končetiny.

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovnických služeb.

Bibliographical identification**Author:** Vilém Riedel**Title:** Torso and upper arms movement variability in a dynamic and a static tasks of advanced slackliners**Supervisor:** doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology**Year:** 2022**Abstract:**

The thesis focuses on the analysis and subsequent comparison of the torso and upper arms movements within static and dynamic tasks on the slackline. The research is divided between two groups of slackliners based on the level of their experience. The both of examined tasks have been done on slackline set EQB 20 m and 50 millimeters wide with a load of 5 kN. The objective of the measurement is to retrieve the acceleration and the angular velocity of the selected body parts. The output data has been measured and recorded with inertial sensors (Trigno Wireless System, Delsys Inc., Boston, MA). During the output data evaluation, we observed a significant diversity between the groups in the walking segment on the slackline. The group of advanced slackliners resulted in lower variability in the movement of the right arm, the right forearm, and the torso in Th3 segment as well as lower variability in the angular acceleration of the torso in Th3 segment. The obtained results were proved a higher level of stability in the group of advanced slackliners. The results achieved by the advanced group are most likely because of better balancing abilities, better processing of sensorimotor information by central nervous system and, also better overall coordination skills.

Keywords:

Slackline, movement variability, balance, static, dynamic, torso, upper arms

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením doc.
Mgr. Zdeňka Svobody Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel
zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 2022

.....
Vilém Riedel

Touto cestou bych rád poděkoval především doc. Mgr. Zdeněku Svobodovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, odborné vedení ale také čas a trpělivost, které mi poskytl při zpracování diplomové práce.

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Přehled poznatků.....	9
2.1 Postura	9
2.2 Posturální stabilita.....	9
2.3 Stabilita a rovnováha	9
2.4 Slackline.....	11
2.4.1 Historie slackline	11
2.4.2 Rovnováha na slackline	12
2.4.3 Druhy slackline	13
2.5 Řízení rovnováhy	14
2.5.1 Senzorická složka	14
2.5.2 Vestibulární systém.....	15
2.5.3 Zrak	16
2.5.4 Somatosenzorický systém.....	17
2.5.5 Hluboké čítí (propriocepce).....	17
2.6 Řízení volního pohybu.....	18
2.6.1 Spinální mícha	19
2.6.2 Mozkový kmen	19
2.6.3 Mozeček.....	20
2.6.4 Bazální ganglia	22
2.6.5 Motorické oblasti motorické kůry.....	23
2.7 Motorické schopnosti.....	26
2.7.1 Koordinační schopnosti	27
2.8 Lateralita	29
2.8.1 Rozdělení laterality	29
3 Cíle a hypotézy	31

3.1 Cíle práce	31
3.2 Dílčí cíle:.....	31
3.3 Hypotézy:.....	31
4 Metodika	32
5 Výsledky	35
5.1 Statická úloha – stoj.....	35
5.2 Dynamická úloha – chůze.....	37
6 Diskuse.....	44
6.1 Statická úloha.....	44
6.2 Dynamická úloha	46
6.3 Limity studie	49
7 Závěry	50
8 Souhrn	51
9 Summary	52
10 Referenční seznam	53
11 Přílohy.....	59

1 Úvod

Slackline je rychle se rozvíjejícím sportem, který nabývá čím dál vyšší popularity. Slackline je dynamický popruh ukotven mezi pevnými body, kdy je cílem slacklinera překonat popruh mezi oběma body bez sestoupení, či pádu ze slackline. Dle různých druhů slackline může být cílem i realizace různých statických, či dynamických triků, které jsou hodnoceny podobně jako v gymnastice.

Ke splnění těchto cílů je třeba, aby slackliner byl vybaven širokou škálou pohybových schopností, dovedností a dalších faktorů. Obzvláště důležitou motorickou schopností je koordináční schopnost, konkrétně její dílčí schopnost rovnováhová.

Lepší schopnost pokročilých slacklinerů udržování rovnováhy v průběhu stoje, či chůze na slackline je zřejmá, avšak není zcela jasné, jaké jsou klíčové rozdíly mezi pokročilými a začátečníky. Tyto informace by mohl být využity pro zlepšení výkonu, či prevenci zranění.

Většina dostupné literatury zabývající se pohybem na slackline se zabývá dolními končetinami, a proto jsme se v této práci zaměřili na pohyb horních končetin a trupu. Očekáváme, že pohyb trupu bude menší u pokročilých slacklinerů, díky jejich lepší stabilitě. U horních končetin nejsou očekávání tak jednoznačná. Pokročilí slacklineři často využívají horních končetin ke stabilizaci těla, avšak není zcela jasné, zda máme očekávat větší pohyb horních končetin, díky jejich aktivnímu využívání, nebo menší, díky celkově lepší stabilitě těla.

2 Přehled poznatků

2.1 Postura

Z fyzikálního hlediska je tělo tělesem labilním. Bez postury je udržení dynamické rovnováhy i klidové rovnováhy nemožné. Tělo by se s gravitačními silami nedokázalo vypořádat a zhroutilo se (Dvořák, 2003). Postura je tedy držení těla ve všech polohách a při všech aktivitách provedených lidským tělem, do kterých se může lidské tělo dostat. Jedná se o stoj, chůzi, běh, sed, leh apod. (Kolář, 2009). Špringrová (2010) uvádí, že je nesprávné vnímat posturu jako držení těla ve stoji, či v sedě. Posturu vnímá jako podmínku k pohybu.

2.2 Posturální stabilita

Posturální stabilita je schopnost, která zajišťuje vzpřímené držení těla a reakci na změny vnitřních a zevních sil, aby nedošlo k neplánovanému a nekontrolovatelnému pádu (Vařeka, 2002, Janura & Janurová, 2007). Stabilita ve statické poloze nastává, pokud vektor tíhové síly směřuje do opěrné báze. Směřuje-li vektor tíhové síly jinam, musí k získání rovnováhy dojít k vyrovnání sil za pomoci pohybového aparátu (Kolář, 2009). Ragnarsdóttir (1996) popisuje, že lze nahlížet na stabilitu dvěma různými způsoby, tj. jako funkci nebo jako stav. Stav systému nazývá posturální stabilitou, zatímco dynamická funkce bývá pojmenována jako posturální stabilizace, což je možné interpretovat jako rovnovážnou funkci.

Laser (1995) i Kolář (2009) zdůrazňují důležitost správné posturální stability ve stoji a v sedě. Její nesprávnost má za následek chybné zatížení pohybového aparátu, které je způsobeno jednostrannou zátěží, či chybným držením těla. To může mít za následek svalové dysbalance. Svalové skupiny ochabují, a jsou zdrojem bolesti. To značně komplikuje posturální stabilizaci.

2.3 Stabilita a rovnováha

Dle Vařeky (2002) pojem rovnováha označuje statické a dynamické strategie k zajištění posturální stability. Doležal a Jebavý, (2013) považují za klíčové u stability při pohybu zpevnění středu těla, a to jak v průběhu, tak těsně před jejich začátkem. Čím větší je stabilita středu těla, tím větší sílu mohou končetiny použít k získání rovnováhy. Důležitější schopností při získávání rovnováhy za pohybu je ovšem koordinace, správná

spolupráce synergistů a antagonistů a jejich časově přesné zapojení. Kolář, (2009) detailněji popisuje, že v průběhu stabilizace, tedy nabytí rovnováhy, dochází ke zpevnění segmentů těla, aby se vytvořilo stabilní a pevné punctum fixum a v druhé části svalu punctum mobile byl proveden pohyb. Provedení cíleného pohybu bez zajištění optimální stability kloubního segmentu v oblasti úponu, tedy úponovou stabilizací svalu, není možné.

Rovnováhy je držována pomocí centrálního nervového systému (CNS). Dochází k aktivnímu svalovému držení tělních segmentů proti působení zevních sil. Spolupráce agonistických a antagonistických svalových skupin má za následek vzpřímené držení těla a stabilní lokomoci. Bez koordinované svalové aktivity by docházelo ke „zborcení“ těla (Špringrová, 2010). Udržování rovnováhy je součástí všech pohybů, i pokud se jedná jen o pohyb dolních či horních končetin (Kolář, 2009).

Trojan et al. (2005) dělí rovnováhu na statickou a dynamickou.

Statická rovnováha vyjadřuje schopnost udržet polohu, ve které nedochází ke změně místa a tělo je téměř v klidu, například se může jednat o stoj, a to jak na pevné podložce, tak na labilní podložce, např. slackline. Charakteristická je obvykle větší opěrná báze, nízká poloha těžiště a jeho umístění, tak že vertikální těžnice se promítá do opěrné báze, optimálně do jejího středu (Trojan et al., 2005).

Dynamická rovnováha vyjadřuje schopnost udržet polohu, ve které dochází k rychlým, rozsáhlým změnám polohy a místa v prostoru. Charakteristická je úzkou opěrnou bází a můžeme ji udržet i když vertikální těžiště neprochází opěrnou bází (Trojan et al., 2005).

Trénink rovnováhy je realizován posunutím těžiště mimo střed opěrné báze. Při statické rovnováze je naším cílem udržovat těžiště a pozici těla v relativně stálé poloze. Zatím co při dynamické rovnováze může docházet až k extrémnímu vychýlení těžiště,

na což je nutné okamžitě reagovat. Rovnovážnou schopnost je možné systematickým tréninkem výrazně zlepšit. Vyřazení zraku během rovnovážného tréninku může efektivitu tréninku zlepšit o 10 – 15 % (Číž & Zeman, 2009; Jebavý & Zumr, 2014).

2.4 Slackline

Lze definovat jako balancování na úzkém popruhu napnutém mezi dvěma pevnými body. Jedná se o mladý sport, jehož základem je udržování rovnováhy. Díky jeho rozmachu v novém tisíciletí začíná být čím dál tím populárnější mezi dospělými i dětmi. Někdy je popisováno jako moderního provazochodectví. U slackline se ovšem nesetkáme s tak pevným kotvením jako u provazochodectví a s pomůckami jako je balanční tyč. Slackline je charakteristická svou dynamičností (Kváš, 2013; Schärli et al., 2013).

Pro začátečníky je vhodné napínat krátké slackline o délce 2-4 m, které jsou těsně nad zemí. Díky krátké délce slackline jsou začátečníci motivováni dosažitelným cílem a umí si představit, že tuto úlohu zvládnou. Málokterý začátečník preferuje delší slackline, neboť začátky na slackline jsou náročné a často spojené s vysokým počtem nezdařených pokusů, které často vedou k bočnímu pádu z slackline (Kuchařová, 2015). Keller et al. (2012) dále ve své studii, kde se zabýval rozvojem rovnováhy díky tréninku slackline popisuje typický třes začátečníků, který vysvětluje jako kloubní oscilace vznikající šlacho – okosticovým reflexem. Ten vzniká reakcí na rychlé protažení svalů. Díky tréninku lze tyto oscilace redukovat. Presynaptická inhibice prostřednictvím supraspinálních center vedoucí k utlumení alfa – motoneuronů hraje důležitou roli ve snížení této nežádoucí reflexní odpovědi.

2.4.1 Historie slackline

Kimberly (2017) zmiňuje, že vznik provazochodectví může být datován stejně jako vznik samotného lana, které se podle historických zmínek objevuje už 32000 let před našim letopočtem. Skutečné záznamy vedoucí k provazochodectví se objevují až ve starověkém Řecku a Římě, kde se jednalo o jisté formy vystupování a tance. Historické prameny popisující různé formy provazochodectví, můžeme nalézt zejména v Korejských a Ruských historických spisech. Velký rozmach provazochodectví v Evropě nastal v období středověku. Provazochodci byli nedílnou součástí mnoha veřejných vystoupení.

Významnou osobností v 18. století byla například i Madam Saqui, která vícekrát vystupovala pro Napoleona Bonaparta. Jedním z jejich vystoupení byl dokonce přechod mezi věžemi katedrály Notre-Dame (Kimberly, 2017). V roce 1859 přešel Jean-Francois nad Niagarskými vodopády po ocelovém laně. Významnou událostí byl také přechod Philippe Petita mezi věžemi World Trade Centra ve městě New York roku 1974. Petit tento přechod plánoval 6 let a byl ilegální. Uskutečnil se v ranní dopravní špičce, aby ho

vidělo co nejvíce lidí. Nejen Petitův čin, ale také činnost médií inspirovaly k trénování rovnováhy i širokou veřejnost (Kváš, 2013).

Slackline tak jak ho známe dnes byl objevila dvojice lezců Jeff Ellington a Adam Grosowski. Během špatného počasí si krátili volné chvíle v kempu balancováním na řetězovém zábradlí. Koncem 70. let začali používat dutý horolezecký popruh šíře 19 mm a později 25 mm. Prvním způsobem napínání slackline bylo pomocí dvou karabin, které vymyslel Jeff Ellington a bylo po něm i pojmenováno (Kváš, 2013).

2.4.2 Rovnováha na slackline

Stabilní stoj na jedné dolní končetině je základním předpokladem zvládnutí chůze na slackline. Umožňuje pouze malé odchylky těla ve vztahu k malé opěrné bázi (Strejcová et al., 2012; Kodama et al., 2016).

Kodama et al. (2016) společně se zkušenými slacklinery zkoumal hypotézu týkající se získání rovnováhy na jedné dolní končetině na slackline. Jejich předpokladem bylo, že hlavní roli hrají horní končetiny slacklinera v pozici nad hlavou, které složí k regulaci a koordinaci těžiště nad slacklinou. Přesněji řečeno, pokud se těžiště posune nějakým směrem, tak se obě hroní končetiny pohybují směrem opačným, aby došlo k nabytí rovnováhy a vykompenzovaly se medio-laterální výkyvy slackline. Zkušení slacklineři jsou schopni bimanuální koordinace, která napomáhá celotělové dynamické rovnováze. Nezávislý pohyb obou končetin, který se nepodílí na vhodné koordinaci, není schopen adekvátně vykompenzovat pozici těžiště těla. Proto má bimanuální koordinace horních končetin důležitou roli při získávání rovnováhy.

Zaměříme-li se na práci dolních končetin při chůzi po slackline, tak je před začátkem pohybu nezbytná stabilizace kolenního a hlezenního kloubu. Stabilizace hlezenního kloubu je zajištěna zejména díky aktivitě musculus soleus a musculus tibialis anterior. Tyto svaly Santos et al. (2016) považují za nejdůležitější pro chůzi i stoj na slackline. Za předpokladu kvalitně stabilizovaného hlezenního kloubu může slackliner přenášet váhu ze zadní nohy v tandemovém postoji, na nohu přední, tedy tu která je ve směru pohybu slacklinera. K přenosu zátěže dochází díky aktivaci musculus rectus femoris, současně je nezbytné, aby musculus vastus lateralis et medialis stabilizovali kolenní kloub stojné nohy. V případě nedostatečné stabilizace kolenního kloubu dochází k bočnímu rozkmitání slackline i dolní poloviny těla ve frontální rovině (Vala, 2014).

I přes pokročilé schopnosti a dovednosti zkušených slacklinerů nikdy nedochází k absolutnímu zklidnění slackline. Při pozorování profesionálních slacklinerů lze vidět,

že slackline, i jejich dolní končetiny jsou velmi neklidné, ovšem hlava a trup jsou v jedné ose v klidné a stabilní poloze doplněné o bimanuální získávání rovnováhy horními končetinami (Kuchařová, 2015; Kodama et al., 2016).

2.4.3 Druhy slackline

Slackline dělíme na různé specifické druhy, které jsou charakterizovány jejich délkou, šířkou popruhu který je nejčastěji 2,5-5 cm široký, výškou ve které se slackline napíná, ale také například tuhostí slackline, která je dána mírou napnutí a materiálem (Ashburn, 2013; Kuchařová, 2015).

Lowline je základní druh napínání slackline, který dal vzniku dalším druhům. Využívá se nejčastěji užší popruh o šíři 2,5 cm o délce maximálně 30 m. Lowline se nejčastěji napíná tak, aby nejnižší bod průvěsu ve středu slackline byl těsně nad zemí (Kuchařová, 2015; Ashburn, 2013; Kváš, 2013).

Trickline je v současnosti jedinou celosvětovou soutěžní disciplínou. Jedná se o nejdynamičtější druh slackline, který mísí prvky skoků na trampolíně, gymnastiky a rovnováhy. Pro trickline je charakteristický velmi pružný polyesterový popruh o šířce 5 cm. Obvykle se jedná o kratší slackline, které jsou napínány ve výšce přibližně jednoho až dvou metrů, ovšem existují i soutěže, ve kterých jsou trickline napínány ve vyšších výškách, aby slackliner neměl možnost korekce rovnováhy o zem. Trickline napnutá ve vyšší výšce negativně ovlivňuje psychiku slacklinere a ztěžuje nástup na slackline (Ashburn, 2013; Kváš, 2013).

Longline je charakteristický délkou nad 30 m s využitím pevnostních polyesterových materiálů například Dyneema, nebo Vectran. Po relativně dlouhou dobu byl držitelem světového rekordu český slackliner Danny Menšík, který překonal longline o délce 1020 m. Jeho rekord byl ovšem 4. července 2021 překonán čtveřicí Quirin Herterich, Lukas Irmeler, Ruben Langer a Friedi Kuhne, kteří překonali 2130 m dlouhou longline v národním parku Abisko ve Švédsku (Ashburn, 2013; Kváš, 2013; Guinnessworldrecords, 2022)

Highline, též popisována jako královská disciplína je charakteristická ukotvením slackline výše než 10 m. Přidáním výšky obvykle sportovní výkon komplikuje faktor strachu a také horší prostorová orientace vzhledem ke vzdáleněji umístěným pevným bodům pro fixaci zraku, který napomáhá stabilizaci hlavy a trupu (Kváš, 2013; Ashburn, 2013).

Waterline je druh slackline napínaný nad vodní plochou, opět se jedná o ztížení pro senzoryckou složku, neboť se jindy pevná zem nyní vyměnila, za neklidnou vodní hladinu, která zhoršuje prostorovou orientaci. Tento druh slackline je populární zejména v létě (Ashburn, 2013).

2.5 Řízení rovnováhy

Na řízení rovnováhy se podílí několik složek, jejichž spolupráce je nezbytně nutná pro zachování rovnováhy. Jedná se o složku senzoryckou, kam spadají vizuální, vestibulární a propioceptivní funkce, složku řídicí, kterou zastupuje centrální nervová soustava, která prostřednictvím sestupných a vzestupných drah a jejich regulačních funkcí dokáže adekvátně aktivovat výkonnou složku řízení rovnováhy. Výkonnou složku představuje muskuloskeletální systém (Janura & Janurová, 2007). Peterka (2018) popisuje řízení rovnováhy jako systém uzavřené smyčky zpětné kontroly, do které jsou integrovány různé zdroje senzoryckých informací.

Proces řízení rovnováhy dělíme na několik fází. V první fázi se jedná o získání informací z různých senzoryckých systémů. Přenos senzoryckých informací z periférií zahajuje druhou fázi, kdy jsou tyto informace převedeny do CNS, která je vyhodnocuje. Třetí fáze aktivuje příslušné svalové skupiny. CNS musí správně vyhodnotit správnou strategii pro udržení stability. Roli zde hraje také předchozí zkušenost, fyzický a psychický stav.

2.5.1 Senzorycká složka

Autoři Stepan (2009), Goodworth a Peterka (2012), Varghese et al. (2015) a další se shodují, že zásadní význam mají tři systémy: zrakový, vestibulární a propioceptivní. Názor na jejich podíl při řízení rovnováhy se ale různí. Horak (2006) uvádí, že zdravý jedinec stojící na pevné podložce v dobře osvětlené místnosti využívá k udržení posturální stability dominantně informace z propioceptorů (70 %), méně podněty vestibulární (20 %) a zrakové (10 %). Posturální kontrola je závislá na vzájemné integraci aferentních informací ze všech tří senzoryckých složek doplňuje Redfern et al. (2001).

K odlišnému využití senzoryckých složek dochází v případě stoje na labilní podložce. Výrazně vzrůstá důvěra ve vestibulární ústrojí a zrak oproti propioceptorům. Organismus dokáže za odlišných okolností využít aferentní informace v jiném poměru, což je pro udržování stability důležité. Změna v procentuálním zastoupení jednotlivých složek nastává například pokud přecházíme z dobře osvětlených prostor do prostor

se zhoršenými světelnými podmínkami a zajišťujeme posturální stabilitu i za takovýchto podmínek (Horak, 2006).

Je známo, že každá ze složek se uplatňuje při jiných frekvencích posturálních výchylek. Při frekvencích nižších než 0,1 Hz se nejlépe k redukci výchylek uplatňuje zraková složka. Při frekvencích v rozsahu menším než 0,5 Hz reagují orolity vestibulárního aparátu a v rozsahu 0,5-1 Hz jsou zapojeny polokruhové kanálky vnitřního ucha. Proprioceptivní signál se nejlépe uplatňuje zejména při kontrole rovnováhy u dynamických úloh, jako je například chůze, kde jsou frekvence vyšší než 1 Hz (Lestienne et al., 1977; Diener et al., 1984).

2.5.2 Vestibulární systém

Někdy známý jako statokinetické čidlo, je speciálně určený k detekci změn polohy a změn při pohybu. Nachází se uvnitř kostěného labyrintu skalní kosti. Mozek využívá informace z tohoto čidla nejen pro určení pozice a pohybu hlavy, ale také k udržování vzpřímené polohy trupu a hlavy, udržování svalového tonu, k řízení hybnosti, ke stabilizaci obrazu na sítnici apod. (Orel et al., 2010). Latence signálu vestibulárního systému k mozkové kůře je rychlejší než jakýkoli jiný smyslový systém zdůrazňuje Waele et al. (2001). Autoři Gauchard et al. (2001) také popisují pozitivní vliv sportu a balančních cvičení na rozvoj vestibulárního systému, který je možné aplikovat i ve stáří.

Lineární senzory (Goldberg, 2016), neboli statické čidlo (Orel et al., 2010) je orgán určený k detekci lineárních pohybů a polohy hlavy. Je tvořeno blanitými váčky utrikulus a sakulus vyplněnými tekutou endolymfou. Uvnitř váček se spolu s podpůrnými buňkami nachází vláskové buňky, které jsou vlastními smyslovými buňkami statického čidla. Jejich výběžky jsou zanořeny do otolitové membrány, ve které se nacházejí drobné krystaly uhličitanu vápenatého nazývané otolity, které vytvářejí vyšší hustotu otolitové membrány, než jakou má okolní endolymfa. Statické čidlo funguje tak, že se díky zemské přitažlivosti otolity přesouvají do níže uložených oblastí (např. při změně polohy hlavy). Tím podráždí citlivé vlásky receptorových buněk, které mechanicky ovlivňují membránu, což otevírá specifické iontové kanály. Průchod iontů způsobuje změnu membránového potenciálu a tím vzniká i potenciál receptorový. Citlivost receptorových vlásků je jak kvantitativní, tak i kvalitativní. To znamená, že zohledňují nejen jak moc se ohnou, ale také kterým směrem se ohýbají, a jak rychle. Statické čidlo detekuje změny polohy hlavy ve všech směrech a také její lineární zrychlení a zpomalení (Goldberg, 2016; Orel et al., 2010; Seemungal, 2015).

Kinetické čidlo slouží k detekci rotačních pohybů hlavy. Funkce je zajištěna pomocí tří polokruhovitých kanálků (canales semicirculares). Přední, zadní a boční kanálky díky svému navzájem kolmému postavení registrují pohyb hlavy v trojrozměrném pohybu. Na konci každého polokruhovitého kanálku se nachází vakovité rozšíření ampula. Uvnitř ampuly je drobná příčná vyvýšenina tzv. ampulární krista (crista ampularis), na které se nacházejí receptorové vláskové buňky. Smyslové buňky tvořeny citlivými tenkými vlásky jsou v ampule zanořeny do rozsolvité hmoty, která se nazývá kupula (cupula). Funkce smyslových buněk probíhá tak, že rotační pohyby hlavy rozpořybují endolymfu polokruhovitých kanálků, endolymfa vychýlí kupulu a vlásky smyslových buněk. Iontové kanálky jsou aktivovány mechanickým pohybem a umožňují průchod iontů, čímž vzniká receptorový potenciál (Orel et al., 2010).

Utrikulus, sakulus a polokruhové kanálky jsou v synaptické kontaktu s nervovými vlákny. Těla těchto vláken jsou soustředěna do vestibulárního nervového ganglia. Jeho axony tvoří část 8. hlavového nervu. Zpracování informací ze statokinetického čidla probíhá ve vestibulárních jádrech, hlavní z nich se podílejí na řízení svalového tonu a rovnováhy (Orel et al., 2010). Pro udržení rovnováhy je důležitá také rychlost přenosu a latence vestibulárního systému do cílových oblastí talamu, mozečku, míchy a mozkové kůry (Waele et al., 2001).

2.5.3 Zrak

Zrak je významnou složkou senzoričkého systému. Rozlišuje mnoho statických vlastností prostředí jako je například tvar, barva a umístění různých objektů v trojrozměrném prostoru. Pro rovnováhu jsou důležitější dynamické vlastnosti prostředí, což jsou informace o pohybu a rychlosti sledovaných objektů. Zrak je také velmi důležitý při lokomoci, protože jedinec téměř okamžitě získává informace o prostorových změnách. To mu umožňuje lepší předvídací a předpovídající schopnost odhadu ztráty rovnováhy a tím i zajištění lepší stability. Optický aparát oka je tvořen několika funkčními částmi: rohovkou, komorovou vodou, čočkou a sklivcem, které dohromady vytvářejí optickou spojnu soustavu. Ta zprostředkovává vznik reálného, zmenšeného a převráceného obrazu, který se promítá na sítnici. Tyčinky a čípky jsou fotoreceptory, které transformují světelný signál v elektrický. Dále je zrakovou dráhou zajištěn přenos informací do korové projekční oblasti, díky které obraz zpracováváme a vnímáme (Králiček, 2002).

Orel et al. (2010) popisuje zrak jako nejdůležitější lidský smysl, prostřednictvím kterého získáváme až 90 % informací. Zrakové informace o poloze těla a prostorové orientaci jsou důležité pro udržení rovnováhy. To popisuje ve své studii Hammami et al. (2014), který porovnával rovnovážné statické schopnosti sprinterů, skokanů a hráčů rugby s vizuální kontrolou a se zakrytými očima. Při pokusech se zakrytými očima vykazují všechny tři skupiny zhoršení rovnováhy. Také poukazuje, že hráči rugby dosahovali lepších výsledků. Pravděpodobně kvůli častějším situacím, při kterých je třeba zapojit rovnovážné složky a získat zpět rovnováhu, jako je například srážka s protihráčem aj.. Důležitost zraku při získávání rovnováhy u statických a dynamických úloh také potvrzuje Bednarczuk et al. (2019) ve své studii sportovců se zrakovými vadami, kde poukazuje na přímou souvislost zraku a rovnovážných schopností.

2.5.4 Somatosenzorický systém

Je rozsáhlý receptorový systém, který není tvořený jasně vymezeným a ohraničeným orgánem. Autoři Zemková (2011) a Orel et al. (2010) dále somatosenzorický systém člení na systém povrchového cití, který bývá označován také jako komplexní exteroceptorový analyzátor. Umožňuje percepci povrchové bolesti, chladu, tepla, tlaku a doteku. Druhým systémem je systém hlubokého cití označován také jako komplexní propioceptorový analyzátor, který má na starost vnímání polohy těla, tedy statickou propiocepci a vnímání pohybu těla a jeho součástí, tedy dynamickou propiocepci.

2.5.5 Hluboké cití (propriocepce)

Pomocí svalových, šlachových a kloubních komponent zprostředkovává vnímání bolesti, informuje o momentálním stavu pohybového aparátu, konkrétně o svalovém napětí, poloze jednotlivých tělních segmentů a o směru a rozsahu pohybu v prostoru. Tuto funkci můžeme označit jako kinestezii. Je zabezpečována souborem fyziologických mechanismů. Jedná se o funkci, která se také zásadně podílí na vnímání, kontrole a získání rovnováhy. Autoři Federici et al. (2020), Gidu et al. (2022) a Espejo-Antúnez et al. (2020) popisují ve svých publikacích možnosti tréninku propiocepce, které pozitivně ovlivňují rovnovážné schopnosti. Základní složkou je propioceptivní aference ze svalových vřetének, Golgiho šlachových tělísek spolu s aferencí vycházející z receptorů v kloubních pouzdrech a z kožních mechanoreceptorů (Zemková, 2011).

Svalová vřeténka informují CNS jednak o dlouhodobých tonických změnách při udržování určité polohy a o rychlých fázičkových změnách délky svalu při pohybu. Golgiho

šlachová tělíska se aktivují při napnutí šlachy. Natáhnutí a kontrakci svalů tedy registrují v oblastech, kde nejsou svalová vřeténka. Dokonalá informace o stavu napětí, kontrakci a zatížení všech svalů vzniká díky souhře těchto dvou receptorových systémů (Zemková, 2011). Současná studie Banks et al. (2021) popisuje, že každé svalové vřeténko má jedno, nebo více senzomotorických zakončení a existují dva typy smyslových zakončení. Primární a sekundární s odlišným vývojem, morfologií, distribucí a citlivostí. Ukazuje se, že tyto dva typy smyslových zakončení svalových vřetének mají oddělené role, konkrétně se zdá, že sekundární jsou více přizpůsobena než primární k signalizaci pomalých změn a polohy tělesných segmentů, čímž přispívají ke vnímání polohy, rovnováze a statickému polohování končetin.

Informace z kloubních receptorů nemají zásadní úlohu při uvědomování si vzájemné polohy jednotlivých tělních segmentů, rozsahu pohybu v kloubu, směru a rychlosti pohybu v kloubu. Vzruchy z kloubních receptorů mění úroveň dráždivosti centrálních struktur, které ovlivňují aktivitu svalových receptorů. Na statéze a kinéze se tedy nepodílí kloubní receptory. Podílí se na ní svalové a částečně i kožní receptory jako jsou například: Vater-Paciniho tělíska, Golgiho-Mazoniho tělíska, Meissnerovy tělíska, Merkelovy terče a Ruffiniho tělíska (Zemková, 2011).

2.6 Řízení volního pohybu

Řízení motoriky jedince je zprostředkováno centrální nervovou soustavou. Svaly jsou výkonnými orgány, které jsou řízeny signály CNS přes periferní nervy a umožňují pohyb. Senzorický systém má kontrolní funkci a dává CNS zpětné informace o aktuálním pohybu. CNS při pohybu nepřetržitě srovnává plán pohybu s reálným stavem a pokud dochází k odchýlení od plánu vzniká odchylka, u které zjišťuje rozsah a opravuje ji s cílem dosažení původního záměru pohybu. Oprava pohybu se uskutečňuje cyklicky. V prvním cyklu je provedena pouze hrubá oprava a v každém dalším je oprava přesnější. Rozdílná rychlost vedení vzruchů v nervových vláknech je příčinou cyklických oprav. Rychlý pohyb se tedy hůře koriguje a je i více nepřesný, zatímco pomalý pohyb je vícekrát opravován díky čemuž je velmi precizní (Véle, 1997).

Mezi struktury, které se podílejí na řízení a kontrole pohybu patří spinální mícha, mozkový kmen, mozeček, bazální ganglia a mozková kůra. Spinální mícha s mozkovým kmenem zprostředkovávají automatické a reflexní funkce. Zahajování a kontrolování

komplexních volných pohybů mají na starost motorické korové oblasti (Enoka, 2002; Ambler, 2006).

Kooperace všech těchto hierarchicky i paralelně organizovaných mozkových struktur umožňuje kontrolu pohybu. Hierarchická činnost CNS umožňuje postupně zpracovávat signál ve vzestupných úrovních. Zodpovědnost za plánování a zvolení strategie pohybu mají na starost vyšší úrovně mozku, které zpracovávají obecnější a méně detailní informace. Detailní kontrolu, provedení a přizpůsobení pohybu okolním podmínkám zpracovávají a zajišťují nižší úrovně. Paralelní činnost spočívá v simultánním zpracování stejného signálu v různých mozkových strukturách s různým účelem. Paralelní a hierarchická kontrola je typická pro systémy, které se ve své funkci překrývají, takže jeden systém je schopen zastoupit funkci druhého, pokud to podmínky, nebo stav organismu vyžadují. Tyto náhradní cesty vytvářejí alternativy řízení volního pohybu při poškození CNS (Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Ambler, 2006).

2.6.1 Spinální mícha

Vyšší mozkové centra mohou funkce spinální míchy kontrolovat a modifikovat, je ale také schopná pracovat nezávisle na signálech z nadřazených center. V rámci zpracování percepčně motorické hierarchie zaštiťuje mícha nejnižší stupeň (Enoka, 2002). Míšní okruh realizuje zpracování sensorických informací včetně počáteční percepce, ty se společně podílejí na kontrole rovnováhy a pohybu. Spinální mícha také zodpovídá za organizaci reflexů a stereotypní odpovědi reagující na senzitivní stimuly. Funkce spinální míchy pomáhá realizovat lokomoční pohyb díky propioceptivním spojům, které po zpracování signálu spinální míchou umožňují aktivaci jednoho z párových svalů a relaxaci protilehlého svalu. Před samotnou aktivací svalů jsou neurony spinální míchy poslední úrovní zpracování nervového signálu (Ambler, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 2001). Spinální mícha není přímým iniciátorem pohybu jednotlivých segmentů těla, ani není přímo zodpovědná za kontrakci jednotlivých svalů. Spinální mícha generuje kontrolní signály o jisté sekvenci, díky kterým serychle opravují vzorce pohybu (Enoka, 2002).

2.6.2 Mozkový kmen

Kontrolu rovnováhy a lokomoci mají na starost nervová jádra mozkového kmene. Mozkový kmen zpracovává nervový signál na vyšší úrovni a nachází se za rostrálně se rozšiřující spinální míchou. Ke kontrole rovnováhy a lokomoce jsou využívána

vestibulární jádra, jádra retikulární formace a nucleus ruber. Mozkový kmen získává senzorické informace ze zrakového a vestibulárního systému a somatosenzitivní informace z kůže a svalů hlavy. Mimo kontrolu rovnováhy je mozkový kmen nezbytně důležitý pro správné fungování sluchu a čichu (Orel et al., 2010; Enoka, 2002; Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Až na kortikospinální dráhy začínají všechny motorické descendentní dráhy v mozkovém kmeni. Enoka (2002) dráhy dělí na dvě skupiny. První skupina umožňuje zajištění rovnováhy při cílených pohybech ovlivněním axiálních a proximálních svalových skupin a ovlivněním synergických svalů. Skládá se z nezkřížené části reticulospinální dráhy, tectospinální a vestibulospinální dráhy. Druhá skupina umožňuje aktivaci distálních flexorových skupin aktivací jejich motorických neuronů a tím ovlivňuje cílené volní pohyby. Skládá se ze zkřížené části reticulospinální dráhy a ze rubrospinální dráhy (Trojan et al., 2005).

Součástí mozkového kmene je také retikulární formace, která společně s vestibulárními jádry zajišťuje polohu těla prostřednictvím motorických reflexů: vzpřimovací, postojový a polohový. Samotná retikulární formace ovlivňuje pozornost a bdění. Mozkový kmen také zajišťuje činnost srdce, dýchání a gastrointestinální funkce prostřednictvím autonomních jader (Trojan et al., 2005; Enoka, 2002).

2.6.3 Mozeček

Je uložen dorzálně od mozkového kmene a prodloužené míchy v zadní jámě lebeční. Skládá se z vnější vrstvy, která je tvořena šedou hmotou neboli kortexem, a vnitřní bílé hmoty s třemi párovými jádry. Konkrétně nukleus fastigijs, interpositus a dentatus. Aferentní informace jsou vedeny k mozečku téměř z celého senzitivního systému. V opačném směru vede mozeček eferentní informace do struktur mozkového kmene, nebo do mozkové kůry. Fylogeneticky dělíme mozeček do tří zón: vestibulární, cerebrální a spinální. Jednotlivé části mozečku se liší jak v aferentních a eferentních informacích, ale také v jejich funkci (Čihák, 2002; Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Společně s bazálními ganglii a motorickou kůrou tvoří mozeček důležitou strukturu mozku, která se významně podílí na koordinaci pohybu. I když nemá mozeček zásadní funkci pro senzitivní, nebo motorické činnosti jeho léze může významně poškodit provedení velice složitých, ale i velmi jednoduchých pohybů právě díky jeho zásadnímu vlivu na koordinaci pohybu (Králíček, 2002).

Vestibulární mozeček je tvořen pars nodulofloccularis. Vizuální a vestibulární systémy poskytují vestibulárnímu mozečku vstupní informace. Do vestibulárních jader vedou výstupní informace. Díky kontrole axiálního svalstva je vestibulární mozeček schopen udržovat vzpřímenou polohu těla při stoji a při chůzi, udržení rovnováhy a prostorovou orientaci. Částečně také řídí automatické oční pohyby. Ataktická chůze, nystagmus, nebo stoj o široké bázi může být způsoben poškozením této části mozečku (Čihák, 2002; Králíček, 2002).

Spinální mozeček se v rostrálním úseku a lobus cerebelli anterior a posterior spojuje s míchou. Aferentní vlákna ze sluchových a zrakových struktur jdou do CNS jdou k motorickým jádrům mozkového kmene. Eferentní spoje vedou do mozkové kůry a mozkového kmene. Funkcí spinálního mozečku je koordinování motoriky v čase a také odpovídá na proprioceptivní informace. Díky neustálému porovnávání proprioceptivních informací a povelům z motorické kůry umožňuje tato část mozečku úpravu odchylek od plánovaného pohybu. I přes využívání nervových A α -vláken, Ia, Ib, které se vyznačují nejvyšší rychlostí přenosu pohybující se kolem 70 - 120 m/s signál jdoucí z nohou do mozečku je zpožděn o zhruba 15 - 20 milisekund (Junqueira et al., 1997). Nastává problém, že informace o pohybu pro mozeček nemohou v každém okamžiku přesné. Proto existují speciální obvody na detekci rychlosti a směru pohybu jednotlivých tělních segmentů a vypočítávají dráhu a časový průběh pohybu na několik milisekund dopředu. Díky této schopnosti jsme schopni ukončit prováděný pohyb v přesně zamýšleném cíli.

V případě, že své pohybové plány nenaplníme a pohyb ukončíme až za cílem, může se jednat o poruchu funkce spinálního mozečku zvanou dysmetrie. Dalším dopadem dysfunkce může být porucha koordinace vzdálených svalových skupin, pohyby jsou pak nekoordinované. Tato porucha se nazývá asynergie (Therrien & Bastian, 2019).

Funkcí spinálního mozečku je také modulování svalového tonu modulováním svalových vřetének díky aktivitě gama motoneuronů, které jsou řízeny excitačními eferentními spoji nukleus fastigus a interpositus. Vznik léze v těchto jádrech může vést k významnému poklesu svalového tonu, který se odborně nazývá jako hypotonie (Baker et al., 2019; Trojan et al., 2005; Králíček, 2002b).

Cerebrální mozeček prošel během evoluce expanzí a má i nemotorické funkce. Tvoří laterální části hemisfér, které se zapojují při koordinování finálního pohybu. Přes nuclei pontis je spojen s mozkovou kůrou. Eferentní vlákna vedou do mozkové kůry a thalamu, zatím co aferentní vedou z mozkové kůry přes ncc. pontis. Cerebrální mozeček

se podílí na motorickém učení a koordinaci a načasování pohybu svalů. Na motorickém učení se podílí zejména tzv. šplhavá vlákna, která vedou z neurálního spojení tzv. dolní olivy (incl. olivaris inf.). Neočekávaná změna při provádění stereotypního pohybu vyvolá reakci šplhavých vláken. Ty snižují reaktivitu na vzruchovou aktivitu paralelních vláken Purkyňových buněk, což je jeden z principů neuroplasticity, konkrétně synaptické plasticity (Čihák, 2002; Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Zadní parietální korová oblast, somatosenzorická oblast, premotorická oblast a suplementární motorická oblast jsou oblasti mozkové kůry, ze kterých jsou vedeny aferentní informace k cerebrálnímu mozečku. Do primární motorické a premotorické oblasti mozkové kůry vedou eferentní spoje cerebrálního mozečku. Pro kontrolu průběhu pohybu jeho exekuci je zapojen spinální mozeček. Cerebrální mozeček je zapojen hlavně do samotné přípravy pohybu. Bazální ganglia, motorická kůra a laterální části hemisfér se podílejí na programování a plánování pohybu. Mezi paralelní dráhy ovlivňující motorický kortex patří právě mozečkové dráhy (Kralíček, 2002).

Pohyb založený na vizuálních podnětech přednostně zapojuje neurony mozečku z nukleus dentatus pro jeho tvoření a vedení. V premotorické oblasti mozkového kortexu se tyto neurony promítají. Pacienti s mozečkovým deficitem v této oblasti mají lepší provedení pohybu se sníženou zrakovou kontrolou, nebo při zakrytých očích (Patel & Zee, 2015).

2.6.4 Bazální ganglia

Jde o komplex neurálních jader v bázi mozkové kůry. Patří zde nucleus subthalamicus, nukleus caudatus, substantia nigra, globus pallidus, putamen. Do putamen a nucleus caudatus bazálních ganglií vedou hlavní vstupní informace. Ty jsou z různých oblastí neokortexu a zahrnují například motorické, asociační a senzitivní oblasti. Ze substantia nigra a vnitřní části globus pallidus vede největší část výstupních informací kompletních bazálních ganglií. Skrze thalamus vedou jejich eferentní signály do premotorické, suplementární a prefrontální oblasti mozkové kůry (Aldridge et al., 2004; Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Vliv bazálních ganglií na motoriku je tlumivý. Realizuje se buď tlumením korové výstupní informace v nižších vrstvách CNS, nebo působí na činnost motoneuronů mozkové kůry přímo. Dříve než se informace dostane k alfa motoneuronům předních rohů míšních, je vstupní informace z primární motorické oblasti upravena. Bazální ganglia

jsou dominantně zapojována při učení se novým pohybům, případně při aktivních pohybech, ve kterých je nutno vybrat některou z již získaných pohybových mechanik. Naopak neaktivní jsou bazální ganglia při pohybech prováděných pod senzoricou kontrolou a při pasivních pohybech. Elektrofyziologické studie Deniau et al. (2007) ukazují zvýšenou vzruchovou aktivitu před začátkem pohybu většiny neuronů bazálních ganglií. To by vysvětlovalo jejich zapojení při vytváření pohybových vzorců a programování pohybů (Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Porucha koordinace pohybu může být způsobena lézí bazálních ganglií. Ta může vést až k atéroze, balismu, choleře, dystonii, snížení svalového tonu a zhoršení posturálních reflexů. Tento komplex může být důsledkem hyperkinetického syndromu. Hypokinetický syndrom může přes hypokinezi vést až k akinezi, které je často doprovázena s posturální nestabilitou, tremorem a rigiditou (Trojan et al., 2005).

2.6.5 Motorické oblasti motorické kůry

Nejvyšším stupněm hierarchie motorické kontroly je považována mozková kůra. V oblasti frontálního laloku zahrnuje rozsáhlé korové oblasti. Jsou rozdělovány na několik funkčních oblastí s odlišnou strukturou, různými aferentními a eferentními spoji a dráždivostí. Patří sem premotorická, suplementární motorická, primární motorická, prefrontální a zadní parietální oblast. Pro plánování pohybu a jeho konečné provedení spolupracují tyto oblasti mozkové kůry s mozečkem, bazálními ganglii a senzitivními oblastmi v parietálním laloku.

Seitz et al. (1995) a Rounis et al. (2005) zkoumali regionální průtok krve v jednotlivých oblastech motorické kůry v souvislosti s prováděným pohybem. Podle zvýšeného průtoku při různých pohybových úkonech odvozují funkci jednotlivých oblastí motorické kůry. Krevní průtok se zvyšuje v primární motorické oblasti a v senzitivní kůře při jednoduchých úkonech, zatím co při komplexních úkonech se krevní průtok nejen v senzitivní kůře a primární motorické oblasti, ale také v suplementární oblasti. V případě představy, či ideomotorického tréninku se krevní průtok zvyšuje pouze v suplementární oblasti (Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Primární motorická oblast (M1)

Je součástí přední strany gyrus centralis, který je uložen v gyrus praecentralis. Velké svalové partie jako jsou svaly dolních končetin, nebo svaly trupu zaujímají menší korové oblasti než svaly, které vykonávají jemný přesný pohyb. M1 je somatotopicky organizována. Aferentní somatosenzorické informace přicházející z bazálních ganglií,

senzitivních oblastí perientálního laloku a mozečku M1 získává ze svalů a kůže v okolí těchto svalů. Tyto informace ze svalů a okolní kůže mohou modulovat spinální reflex v momentu nezbytného zvýšení svalové síly v důsledku vyšší, nepředpokládané zátěže v průběhu pohybu. Může se jednat o důležitou propioceptivní schopnost podílející se na udržení rovnováhy. Eferentní informace M1 zastupují přibližně 30 % kortikospinálního traktu a jsou spojeny s interneurony v celé spinální míše, alfa motoneurony a gama motoneurony (Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Trojan et al., 2005).

Prostřednictvím elektrostimulace M1 lze vyvolat jednoduché pohyby jako je flexe a extenze v jednom, nebo více kloubech. Složitějších cílených pohybu za pomoci elektro stimulace dosáhnout nelze. Věk na výsledky elektro stimulace nemá vliv i bez ohledu na motorickou zručnost probandů (Schucht et al., 2013). Z toho vyplývá, že M1 realizuje pohyb, který je plánovaný a připravený v jiných částech kůry. K hypotonii, areflexi, nebo kontralaterální chabé obrně může dojít při lézi M1. Postupně může nastat i úprava reflexů. Hybnost svalstva pletenců a axiálního svalstva se restituuje. Porucha hybnosti akrálních částí končetin přetrvává, dokonce dochází k celkovému zpomalení pohybů. Tyto skutečnosti poukazují na to, že se M1 podílí na řízení pohybů distálních částí končetin a na řízení jemných cílených pohybů. Dále řídí sílu a rychlost pohybu. Při nižší stálé síle vykazují neurony M1 větší změnu aktivity. Určování kinematických podrobností pohybu a aktivita neuronů je určována M1 a je největší při pohybu horních končetin specifickým směrem (Enoka, 2002; Schucht et al., 2013; Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Premotorická korová oblast (PM)

Je uložena v zadní části gyrus frontale medius a superior, zasahuje také do předního okraje gyrus praecentralis. Ze zadní korové parietální oblasti přicházejí informace aferentní. Dále do PM vedou z cerebrálního mozečku doplňující informace korové motorické oblasti. Směrem ventromediálního seskupení spinálních nervů vede eferentní projekce přímým spojením za pomoci tr. corticospinalis ventralis, nebo se za pomoci spoje do mozkového kmene napojují na sestupné kmenové dráhy ventromediálního systému (Králíček, 2002).

Za pomoci elektrické stimulace PM můžeme vyvolat pohyby flexe, elevace, či abdukce končetin, rotační pohyby hlavy a jiné komplexní pohyby (Schucht et al., 2013). Axiální svalstvo je pod kontrolou PM. Léze PM může způsobit parézu pletence ramenního, nebo kyčelního svalstva. PM také realizuje motorický program vzniklý ze suplementární motorické oblasti (SMA) a z prefrontální oblasti. Má na starost iniciaci pohybu, při které směřuje zrak, hlavu a končetiny s trupem dle cíle pohybu. Rounis et al.

(2005) popisuje že průtok krve v PA se zvyšuje při cíleném pohybu v jistém směru a jisté vzdálenosti. Dle toho usuzujeme, že má PM významnou roli při kontrole pohybů, které jsou závislé na zraku. Dále má spojitost s pohyby horních končetin, kdy neurony PM zvyšují svou aktivitu při aktivitách vyžadující sílu (Králíček, 2002; Enoka, 2002; Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Suplementární motorická korová oblast (SMA)

Je součástí mediální plochy gyrus frontale superior a její organizace je somatotypická. Z bazálních ganglií a zadní parientální oblasti vedou do SMA aferentní signály. Projekce eferentních signálu vede do M1 neuronů laterálního kortikospinálního traktu, k neuronům ventromediálního descendentního uskupení kmenových drah mozkového kmene, do premotorické korové oblasti a do ventromediálního systému motoneuronů prostřednictvím tr. corticospinalis ventralis, což jsou přímé spoje (Králíček, 2002).

Elektrostimulace SMA vyvolává složité bilaterální pohybové reakce od jednodušších izolovaných pohybů končetin po komplexní pohyby i vokalizaci (Schucht et al., 2013). Ke zpomalení pohybu v kontralaterálních končetinách, zástavě řeči a neschopnosti zahájit pohyb může dojít v důsledku léze SMA. Zvýšení krevního průtoku zde nastává při představě pohybu i při provedení pohybu. SMA je zodpovědná za programování úmyslných pohybů. M1 je podřazena v hierarchii motorických oblastí SMA, proto se SMA někdy nazývá jako supermotorická oblast (Trojan et al., 2005; Králíček, 2002).

PM a SMA jsou fylogeneticky různého původu, díky tomu mají i jiné funkce při provedení a přípravě pohybu. SMA se podílí zejména na pohybech, které souvisejí s vnitřním stavem organismu. Oproti PM, které je aktivní zejména při pohybu se zrakovou kontrolou, se neurony SMA aktivují při automatizovaných zapamatovaných pohybech (Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Ambler, 2006).

Zadní parientální oblast (asociační)

Je součástí lobulu parietalis superior a inferior. Ze zrakové korové oblasti a somatosenzorické oblasti k ní přicházejí aferentní informace. Do doplňkové motorické korové oblasti, premotorické a frontální oblasti vede projekce eferentní. Zadní parientální oblast je úzce spojena s prefrontální oblastí. Jejich spolupráce je charakteristická při na pozornost náročných prostorových úlohách. Asociační oblast je zodpovědná za volbu v zpracování vhodných senzorických informací, na kterou musí reagovat jednou z mnoha možných motorických odpovědí. Neschopnost využití senzomotorické informace

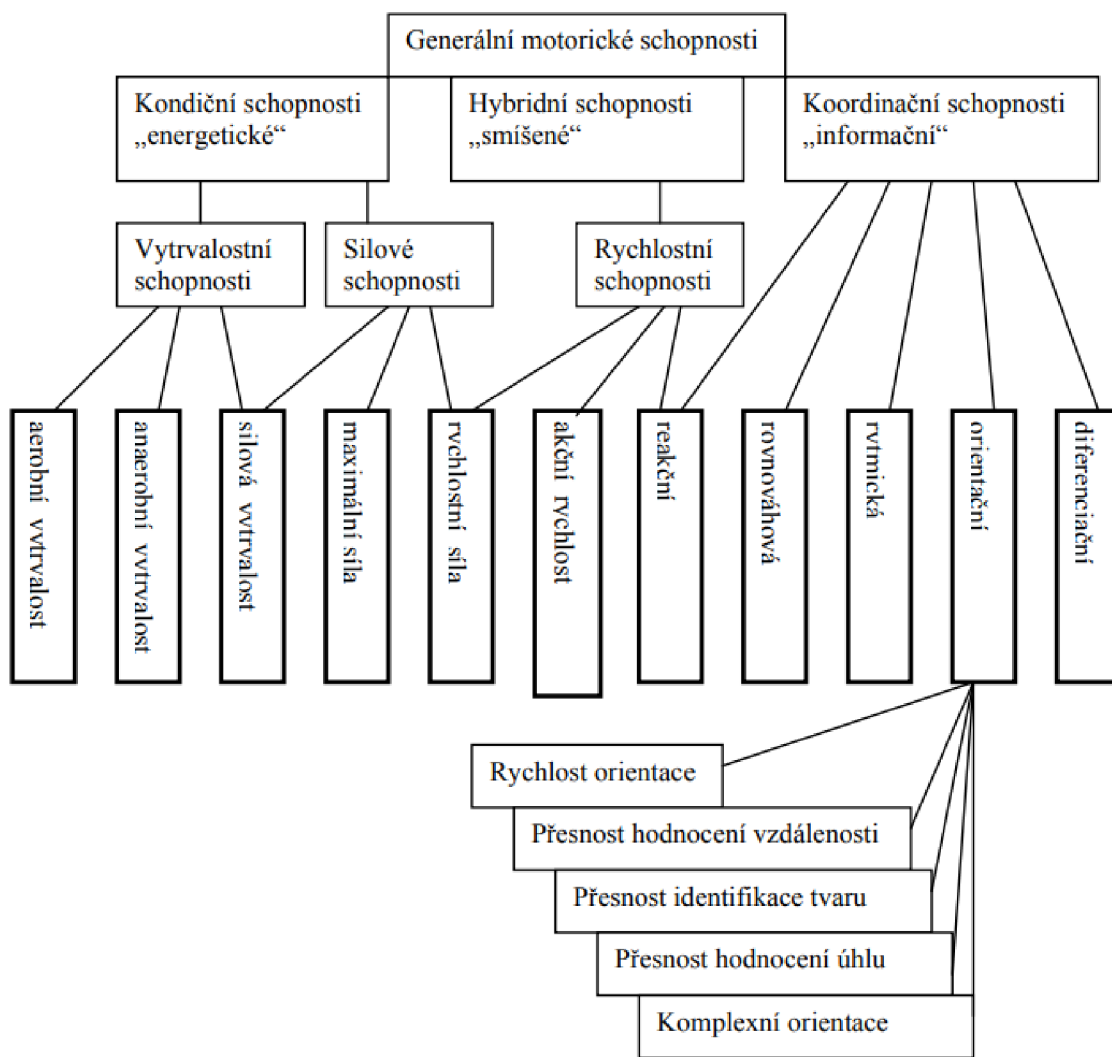
k vytvoření správného pohybového plánu může být příčinou léze asociační oblasti (Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Trojan et al., 2005; Ambler, 2006; Králíček, 2002).

Prefrontální korová oblast

Je součástí dorsolaterální strany frontálního laloku a rozděluje se na konvexity a sulcus. Z bazálních ganglií a asociační oblasti k ní vedou aferentní informace. Eferentní informace vedou do premotorické a doplňkové korové oblasti. Podobně jako asociační oblast dochází k plánování prostorových pohybů v neuronech oblasti sulcu. Neschopnost inhibice konkrétní motorické reakce v daný moment může být způsobena lézí prefrontální korové oblasti (Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Ambler, 2006; Králíček, 2002).

2.7 Motorické schopnosti

Čelikovský (1984) vnímá motorickou schopnost jako soubor integrovaných vnitřních relativně samostatných předpokladů splnit pohybový úkol. Motorické schopnosti jsou částečně podmíněny geneticky. Na obrázku 1 vidíme zařazení rovnováhové schopnosti mezi generální motorické schopnosti dle Měkoty & Novosada (2005), které stejně dělí také Bedřich (2006). Vzhledem k zařazení rovnováhové schopnosti a zaměření naší práce se dále zaměříme zejména na skupinu koordinačních schopností.



Obrázek 1. Hierarchické uspořádání motorických schopností (Měkota & Novosad, 2005).

2.7.1 Koordinační schopnosti

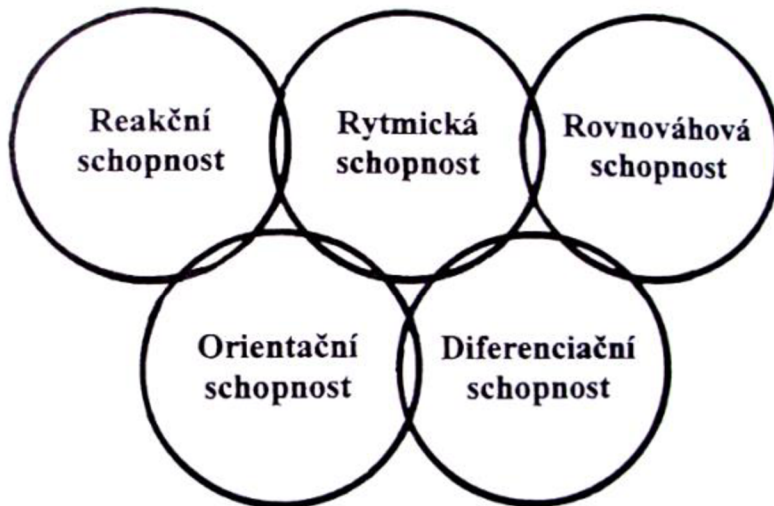
Chápeme jako relativně upevněné a zobecněné kvality regulace a řízení pohybu, které jsou podmínkou pro každou pohybovou činnost a ovlivňují její efektivitu. Jejich působnost je ve všech pohybových aktivitách a tvoří základ pohybových a sportovních dovedností (Dovalil, 2009). Perič (2012) dále zdůrazňuje provázanost s činností CNS, která organizuje a řídí množství oblastí nezbytných pro specifické pohyby. Jedná se o činnosti analyzátorů (zraku, sluchu, propiocepce), činnost funkčních systémů (dýchacího, oběhového, aj.), nervosvalovou koordinaci a psychologické procesy.

Cílem koordinačních schopností je koordinování dílčích pohybů a pohybových fází tak, aby vytvořily harmonický komplexní pohyb. Při pohybových aktivitách jako je např. slackline lidské tělo mění svoji pozici v prostoru, a je třeba neustále obnovovat a udržovat

rovnováhu. Koordinace je nezbytná pro volbu vhodného řešení na neočekávaně vzniklé a různorodé pohybové úlohy (Měkota & Novosad, 2005; Hirtz, 1988, 1997)

Taxonomie koordinačních schopností

Stejně jako Měkota & Novosad, (2005) i Hirtz (1997) dělí koordinační schopnosti do pěti stejných kategorií, avšak Hirtz (1997) se snaží ve svém schématu (viz Obrázek 2) poukázat na provázanost jednotlivých dílčích koordinačních schopností.



Obrázek 2. Taxonomie základních koordinačních schopností (Hirtz, 1997).

Diferenciační schopnost

Jedná se o schopnost rozlišit a nastavit silové, časové a prostorové parametry pohybového průběhu s cílem uskutečnění přesného, plynulého a ekonomického pohybu na základě informací analyzátorů pohybu (Hirtz, 1988; Měkota & Novosad, 2005).

Orientační schopnost

Jedná se o schopnost určit polohu těla v pohybu, prostoru a čase. To vše zároveň také vzhledem k akčnímu poli, nebo pohybujícímu se objektu (Hirtz, 1988; Měkota & Novosad, 2005). V případě slackline nastávají velmi různé podmínky na waterline, kde je povrch pod slacklinerem tvořen vodní plochou, která nemůže být optimálně použita pro zrakové analyzátoři. V případě highline, je pevný povrch v příliš velké vzdálenosti pro kvalitní využití zrakových analyzátorů.

Reakční schopnost

Jedná se o schopnost zahájit pohyb v co nejkratším čase od podnětu k pohybu. Jde tedy o časový interval mezi vznikem smyslového podnětu a zahájení volní reakce. Rychlost reakční schopnosti závisí na době aferentního a eferentního přenosu, době

zpracování, nebo latentní době reakce svalů (Měkota & Novosad, 2005; Peter Hirtz, 1988; Havel & Hnízdil, 2010).

Rytmická schopnost

Jedná se o schopnost vnímat, ukládat a realizovat konkrétní pohybový děj vymezený časově dynamickou strukturou. Je zapotřebí disponovat schopností vnímat rytmus, který je daný, nebo v pohybové činnosti obsažený. Rytmická schopnost je zásadní pro estetické sporty doprovázené hudbou, ale také různé lokomoční sporty (Měkota & Novosad, 2005; Peter Hirtz, 1988; Havel & Hnízdil, 2010).

Rovnováhová schopnost

Je popisována jako esenciální schopností koordinačních schopností, protože je úzce spjata se všemi koordinačními schopnostmi a je nezbytná nejen pro sportovce. Jedná se o schopnost udržení, případně znovu nabytí rovnováhy při měnících se podmínkách.

I při stoji nepřetržitě přicházíme o rovnováhu a znovu ji nabýváme, neboť stoj na obou nohách není stabilní poloha. Člověk s dobrou úrovní rovnováhové schopnosti vnímá i malé vychýlení z rovnováhy a dokáže na něj reagovat změnou tonu svalových skupin, případně kompenzačními pohyby různých částí těla. Např. získávání rovnováhy na slackline pomocí horních končetin (Měkota & Novosad, 2005; Peter Hirtz, 1988; Havel & Hnízdil, 2010).

2.8 Lateralita

V dnešní době je existence stranových asymetrií z hlediska funkčního i z hlediska strukturálního velmi dobře známa (Vařeka, 2005). Pro běžné denní aktivity, jako je například používání mobilního telefonu, psaní, nebo i zvednutí předmětu jednou rukou a další platí, že podvědomě využíváme jednu stranu svého těla více. V současné době se pro zkoumání takovýchto asymetrií používá pojem lateralita pocházející z latinského *latus, lateris* což znamená strana, nebo bok (Drnková & Syllabová, 1991).

Lateralitu tedy chápeme jako různé stupně nesouměrnosti párových struktur, je ale možné hodnotit také například poloviny nepárových orgánů. Nejvíce si všímáme rozdílů mezi končetinami a smyslovými orgány jak z hlediska jejich struktury, tak i funkce (Loffing et al., 2016).

2.8.1 Rozdělení laterality

Vzhledem k asymetrii dělíme lateralitu na funkční a tvarovou. Tvarová lateralita se zaměřuje zejména na stavbu pozorovaných orgánů. Hodnotí se jejich tvar, objem, či

velikost. Příkladem tvarových asymetrií je například oblast obličeje, páteře, dolních končetin a horních končetin a dalších. Nejvíce nálezů se na lidském těle vyskytuje na kraniální části, směrem kaudálním k dolním končetinám jejich počet klesá (Loffing et al., 2016; Vařeka, 2001).

Funkční laterální lateralitu chápeme jako asymetrii z hlediska výkonnostního. Charakteristické je upřednostňování jedné končetiny, nebo smyslového orgánu, kdy vykazují lepší výsledky než párový orgán na straně druhé. Na příkladu horních končetin se při jednostranných činnostech preferovaná strana projevuje vyšší, rychlostí a přesností pohybu, snazším provedením a pohyb je lépe koordinovaný. Při oboustranných aktivitách se preferovaná končetina ujímá funkce vedoucího orgánu. Druhá končetina plní funkci sekundární a v činnosti aktivně pomáhá. Obecně lze tvrdit, že čím je úkol specifitější a složitější, o to více je v něm přednostně zapojena preferovaná, tedy dominantní končetina (Sainburg & Kalakanis, 2000; Vařeka, 2001, 2005).

Do dvou forem rozdělil laterální lateralitu Měkota (1984).

Laterální preference, která je specifická upřednostněním užívání jedné končetiny před druhou. Nemusí mít vztah s výkonností dané strany a není výhradní.

Laterální dominance, která popisuje rozdílný stupeň výkonu na obou stranách párové struktury. Charakteristickým projevem je, že jedna strana pracuje efektivněji a rychleji než strana druhá.

Dále lze laterální lateralitu dělit podle jejího zaměření na jednotlivé orgány jako je například: sluchovost (angl. eardness), zrakovost (angl. eyedness), nohovost (angl. footedness) a rukovost (angl. handedness), která je nejlépe pozorovaný a nejobvyklejší druh laterality (Loffing et al., 2016; Sainburg & Kalakanis, 2000; Vařeka, 2005)

3 Cíle a hypotézy

3.1 Cíle práce:

- Porovnat variabilitu pohybu trupu a horních končetin během statických a dynamických úloh na slackline u pokročilých a méně zkušených slacklinerů

3.2 Dílčí cíle:

- Posoudit rozdíly ve variabilitě pohybu končetin a trupu ve statické rovnovážné úloze na slackline mezi začátečníky a pokročilými slacklinery
- Posoudit rozdíly ve variabilitě pohybu horních končetin a trupu v dynamické rovnovážné úloze na slackline mezi začátečníky a pokročilými slacklinery

3.3 Hypotézy:

- H1: Variabilita zrychlení a úhlové rychlosti trupu při statických a dynamických úlohách je u pokročilých slacklinerů významně menší ve srovnání se začátečníky.
- H2: Variabilita zrychlení horních končetin je při statických i dynamických situacích u pokročilých slacklinerů významně menší ve srovnání se začátečníky

Poznámka: hypotézy budou ověřovány nezávisle pro statickou a dynamickou úlohu.

4 Metodika

Diplomová práce vznikla v rámci projektu „Hodnocení dynamické rovnováhy v různých podmínkách“, který byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Soubor

Výzkumu se zúčastnilo 18 probandů, kteří byli rozděleni do dvou skupin: začátečníci ($n = 8$, věk $23,9 \pm 1,3$ let, hmotnost $72,3 \pm 4,4$ kg, výška $173,8 \pm 6,5$ cm) a skupiny pokročilí ($n = 10$ věk $24,3 \pm 3$ let, hmotnost $62,5 \pm 8,5$ kg, výška $171,3 \pm 10,9$ cm). Kritériem pro zařazení do skupiny pokročilých byla schopnost překonat slackline o délce alespoň 15 m a nejméně 2 roky aktivit na slackline. Skupina začátečníků se skládala ze studentů Fakulty tělesné kultury, kteří byli schopni absolvovat statickou a dynamickou úlohu na slackline, ale nesplňovali kritéria pro pokročilé. Žádný z účastníků výzkumu neutrpěl v posledních dvou letech zranění, které by mohlo výrazně ovlivnit měření.

Použitá technika

- Statická a dynamická úloha se prováděla na slackline setu EQB trick 20 m o šířce 5 cm a maximálním pracovním zatížení 5 kN (Hanuš & Dostál, 2022)
- Zrychlení a úhlová rychlost na vybraných místech těla byla zaznamenána pomocí inerciálních senzorů (Trigno Wireless System, Delsys Inc., Boston, MA).

Průběh měření

Měření bylo plánováno tak, aby probandí v den měření, ani předchozí den neabsolvovali žádnou pohybovou aktivitu o vysoké intenzitě, či vysokém zatížení. V den měření se postupně dostavili v dostatečném předstihu, aby se mohli individuálně rozcvičit. Na rozcvičení měli vymezený čas deseti minut. Následně si bez měření jedenkrát zkusili obě požadované úlohy. Každý proband absolvoval obě úlohy, kdy mezi jednotlivými pokusy činil interval odpočinku 30 s. Slackline byla napnutá s maximálním úsilím, pod slackline byly umístěny žíněnky z důvodu bezpečnosti. Délka slackline činila 6 m a šířka 5 cm. Probandi obě úlohy podstupovali bosky. Na jejich tělo bylo umístěno 8 senzorů, tři páry na horní končetiny. Jeden do středu dlaně, druhý do středu segmentu předloktí a třetí do středu segmentu paže. Dále byly dva senzory umístěny na páteř

v oblasti Th3 a L5. Samotné měření se zaznamenáváním dat trvalo u obou úloh 30 sekund a bylo spuštěno vždy až v momentu kdy, proband stál na slackline, aby se zamezilo zaznamenání výchylek při nastupování na slackline. Senzory na horních končetinách zaznamenávaly zrychlení, zatím co senzory v oblasti Th3 a L5 zaznamenávaly zrychlení i úhlovou rychlost. Data jednoho probanda (skupina pokročilých slacklinerů) nebyla hodnocena kvůli nesplnění minimálních požadavků na délku měřených při statické úloze. Podobně také nebyla hodnocena data jednoho probanda (skupina začátečníků) při dynamické úloze.

Statická úloha

Proband ve vzdálenosti 1,5 m od konce slackline nastoupil do stoje na jedné noze. Proband si vybral dolní končetinu, se kterou předpokládal dosažení lepších výsledků. Před nastoupením na slackline měřená osoba upažila paže povýš a nastoupila na slackline, což byla výchozí poloha a snažila se co nejdéle udržet rovnováhu. Pokus byl měřen po dobu 30 s, v případě nezdařilého pokusu se mohl proband pokusit úlohu splnit ještě dvakrát. Z pokusu s nejdelším provedením statické úlohy stoje na jedné noze jsme vybrali nejdelší kontinuální úsek udržování rovnováhy bez pádu, či sestoupení ze slackline. Celý tento pokus a následně jeho nejdelší část bez pádu jsme vybrali do následného zpracování dat a statistického vyhodnocení. Probandi byli instruováni k co nejkoordinovanějšímu udržování rovnováhy s co nejmenšími vychýleními z rovnováhy, ale zároveň motivováni k co nejdelšímu udržení rovnováhy ve statické úloze na slackline.

Dynamická úloha

Probandi nastupovali na začátku slackline a snažili se kontrolovanou chůzí s co nejnižší ztrátou rovnováhy překonat co největší vzdálenost. Výchozí postavení vycházelo z postavení u statické úlohy s rozdílem, že po nastoupení probandi stáli oběma nohama na slackline v tandemovém postavení. Probandi byli instruováni k co nejvíce kontrolované chůzi s co nejmenšími vychýlkami. Pokus byl měřen opět po dobu 30 vteřin a byly provedeny maximálně tři pokusy celkem. Do statistického zpracování jsme vybrali měření, které obsahovalo nejdelší časový úsek kontinuální chůze bez pádu, či sestoupení ze slackline, nikoliv nejdelší překonanou vzdálenost.

Zpracování dat

Nejdříve byly z naměřeného signálu v souladu s poznámkami z měření určeny intervaly, kdy měřené osoby plnily předepsanou úlohu (stoj nebo chůze na slackline). Z těchto intervalů byla vypuštěna první a poslední sekunda záznamu. Poté byly vypočítána variabilita (směrodatná odchylka) zrychlení a úhlové rychlosti jednak pro nejdelší možný interval (u většiny se jednalo o 28 s) a jednak pro 5 s interval od začátku zkoumaného úseku.

Statistické zpracování dat

Statistické zpracování bylo provedeno v programu Statistica (verze 13, TIBCO software, Palo Alto, CA, USA). Hladina statistické významnosti byla stanovena $\alpha = 0,05$. Vzhledem k nižším počtům subjektů ve skupinách byl pro porovnání skupin zvolen neparametrický Mann Whitney U test. Věcná významnost byla posouzena pomocí koeficientu $r = Z / \sqrt{N}$, kde Z je výsledné skóre Mann Whitney U testu a N počet vzorků. Interpretace tohoto koeficientu byla následující: $0,1 \leq r < 0,3$ malý efekt, $0,3 \leq r < 0,5$ střední efekt a $0,5 \leq r$ velký efekt.

5 Výsledky

5.1 Statická úloha – stoj

V tabulce 1 pozorujeme variability zrychlení a variability úhlové rychlosti z osmi senzorů v rámci celého zkoumaného intervalu. Přestože hodnoty jsou většinou mírně vyšší u začátečníků ve srovnání s pokročilými, žádný rozdíl nebyl statisticky významný.

Tabulka 1

Statická úloha stoje – porovnání variability zrychlení a úhlové rychlosti u pokročilých a začátečníků v celém měřeném intervalu

Umístění senzoru	Pokročilí (n = 9)	Začátečníci (n = 8)	Významnost	
	Medián	Medián	p	r
Paže P	0,12	0,16	0,200	0,315
Paže L	0,27	0,24	0,606	0,128
Předloktí P	0,23	0,28	0,370	0,222
Předloktí L	0,36	0,29	0,236	0,292
Ruka P	0,26	0,36	0,277	0,268
Ruka L	0,36	0,37	0,815	0,058
Th3 Acc	0,04	0,06	0,200	0,315
Th3 ω	18,8	21,4	0,200	0,315
L5 Acc	0,03	0,05	0,200	0,315
L5 ω	17,8	19,6	0,481	0,175

Poznámka. P – pravá, L – levá, Th3 – 3. hrudní obratel, L5 – 5. bederní obratel. Acc – akcelerometr, ω – úhlová rychlost, p – hladina statistické významnosti, r – hodnocení věcné významnosti

V tabulce 2 pozorujeme opět hodnoty sledovaných parametrů ve stoji na slackline, avšak nyní se jedná pouze o měřený interval pěti vteřin, který je stejný pro celou skupinu. Toto hodnocení jsme zvolili, protože délka měřeného intervalu by mohla mít vliv na variabilitu zrychlení a úhlové rychlosti. Ani v tomto případě jsme nenalezli mezi skupinami pokročilých a začátečníků žádný statisticky významný rozdíl.

Tabulka 2

Statická úloha stoje – porovnání variability zrychlení a úhlové rychlosti u skupiny pokročilých a začátečníků při intervalu pěti vteřin

Umístění senzoru	Pokročilí (n = 9)	Začátečníci (n = 8)	Významnost	
	Medián	Medián	p	r
Paže P	0,13	0,15	0,673	0,105
Paže L	0,30	0,19	0,481	0,175
Předloktí P	0,29	0,28	0,963	0,012
Předloktí L	0,39	0,30	0,139	0,362
Ruka P	0,24	0,35	0,606	0,128
Ruka L	0,44	0,36	0,606	0,128
Th3 Acc	0,05	0,05	0,673	0,105
Th3 ω	18,9	22,6	0,606	0,128
L5 Acc	0,04	0,04	0,673	0,105
L5 ω	18,1	19,7	0,815	0,058

Poznámka. P – pravá, L – levá, Th3 – 3. hrudní obratel, L5 – 5. bederní obratel. Acc – akcelerometr, ω – úhlová rychlost, p – hladina statistické významnosti, r – hodnocení věcné významnosti

5.2 Dynamická úloha – chůze

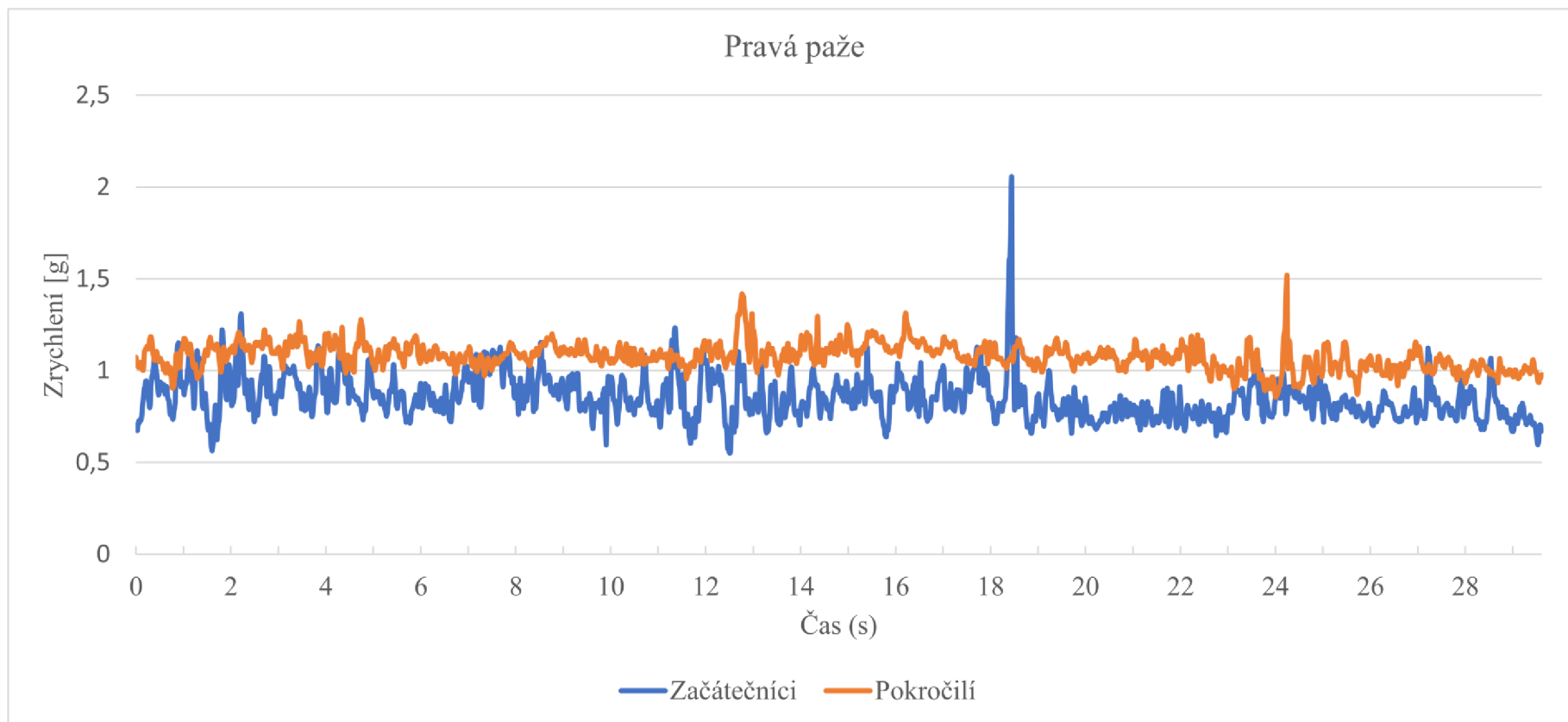
V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty sledovaných parametrů v průběhu celého měřeného intervalu chůze na slackline. Statisticky významné rozdíly mezi pokročilými a začátečníky jsme našli při porovnání hodnot variability zrychlení pravé paže a pravého předloktí, dále také u variability úhlové rychlosti a zrychlení v oblasti hrudníku (senzor byl umístěn na páteři v oblasti Th3). Ilustrační výsledky statisticky významných údajů pozorujeme níže pod tabulkou (viz obrázek 3. – 6.). Z hlediska věcné významnosti byl u všech parametrů, kde byl významný rozdíl, zjištěn střední efekt skupiny, u variability úhlové rychlosti hrudníku to byl velký efekt skupiny.

Tabulka 3

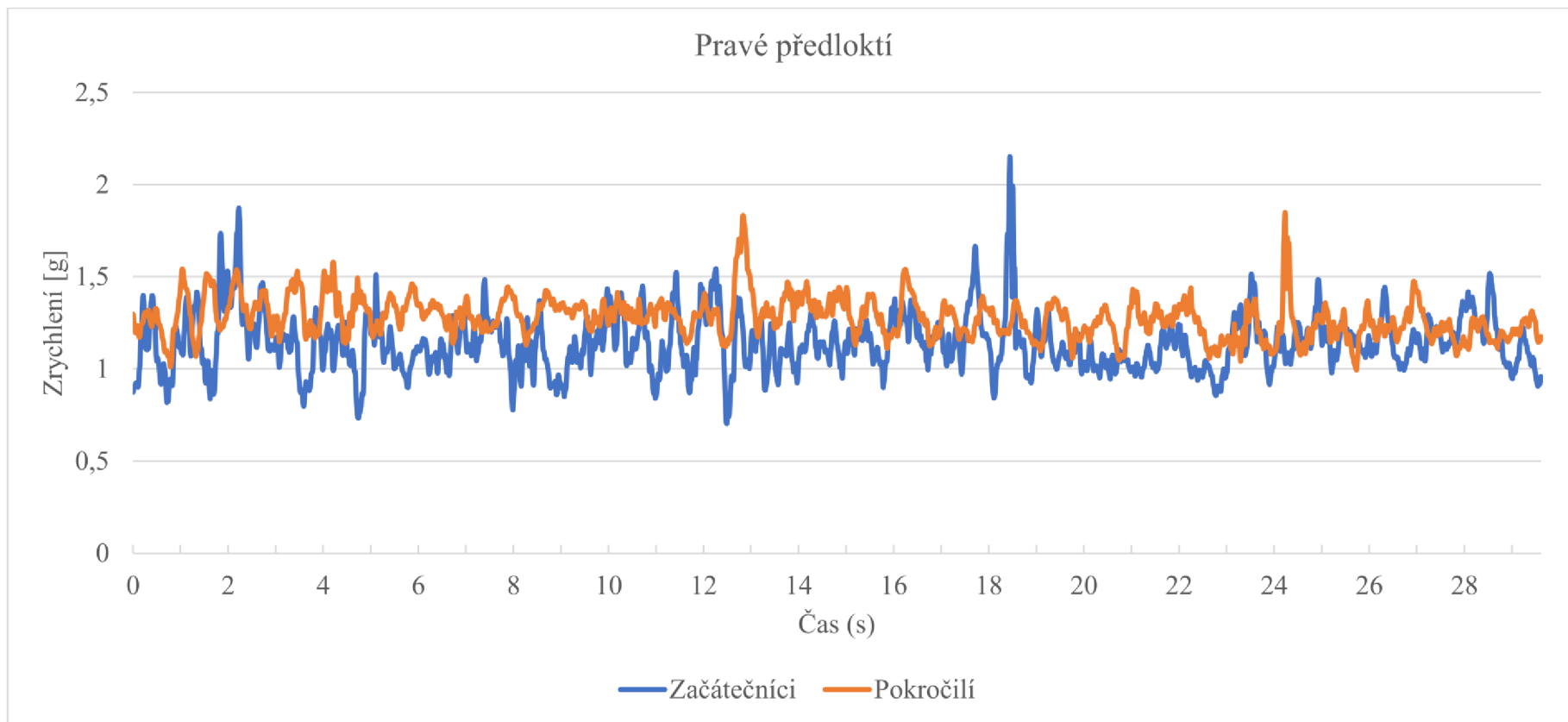
Dynamická úloha chůze – porovnání variability zrychlení a úhlové rychlosti u skupiny pokročilých a začátečníků v celém měřeném intervalu

Umístění senzoru	Pokročilí (n = 10)	Začátečníci (n = 7)	Významnost	
	Medián	Medián	p	r
Paže P	0,16	0,28	0,043	0,485
Paže L	0,30	0,38	0,088	0,414
Předloktí P	0,30	0,47	0,043	0,485
Předloktí L	0,36	0,46	0,161	0,343
Ruka P	0,35	0,58	0,230	0,296
Ruka L	0,38	0,52	0,161	0,343
Th3 Acc	0,05	0,11	0,043	0,485
Th3 ω	20,2	41,9	0,019	0,556
L5 Acc	0,05	0,08	0,070	0,438
L5 ω	20,9	27,8	0,230	0,296

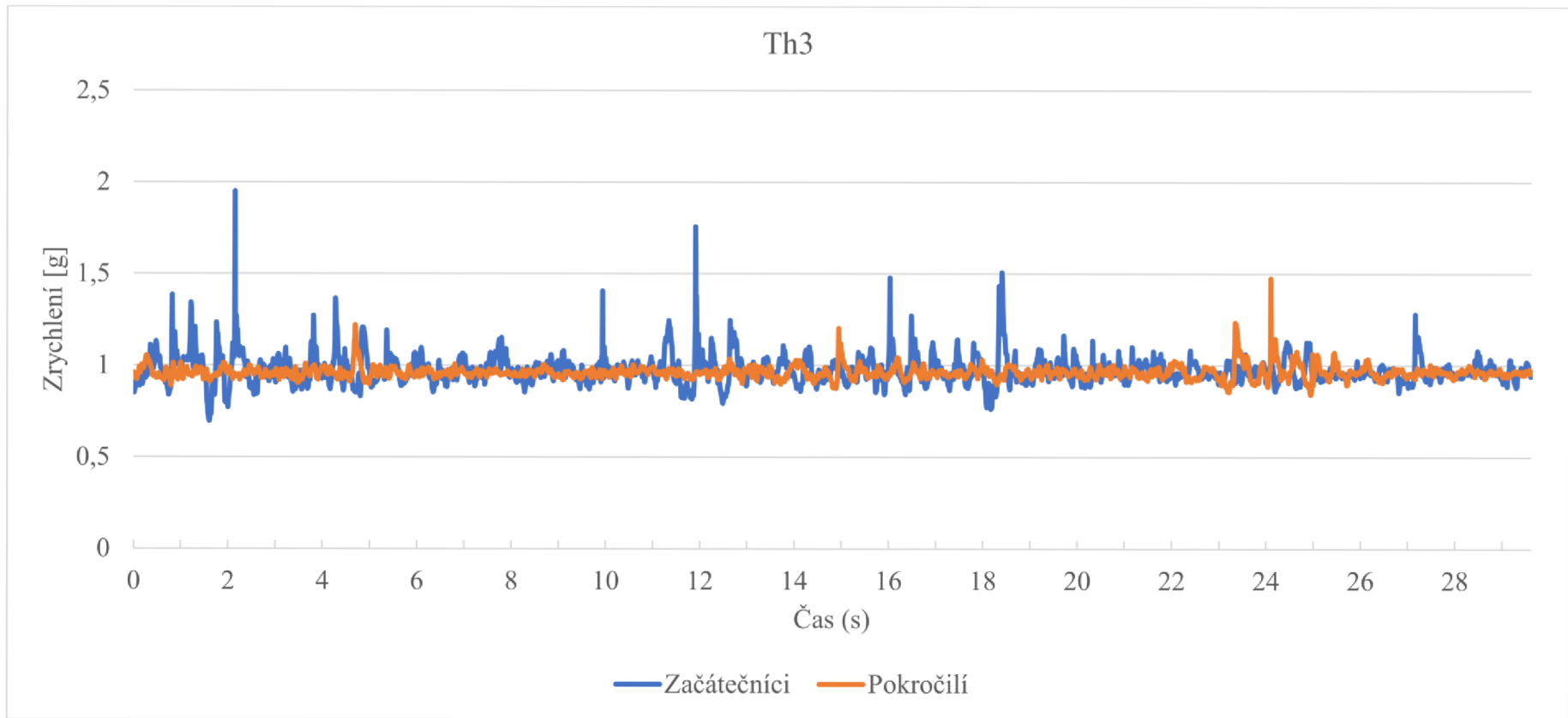
Poznámka. P – pravá, L – levá, Th3 – 3. hrudní obratel, L5 – 5. bederní obratel. Acc – akcelerometr, ω – úhlová rychlost, p – hladina statistické významnosti, r – hodnocení věcné významnosti



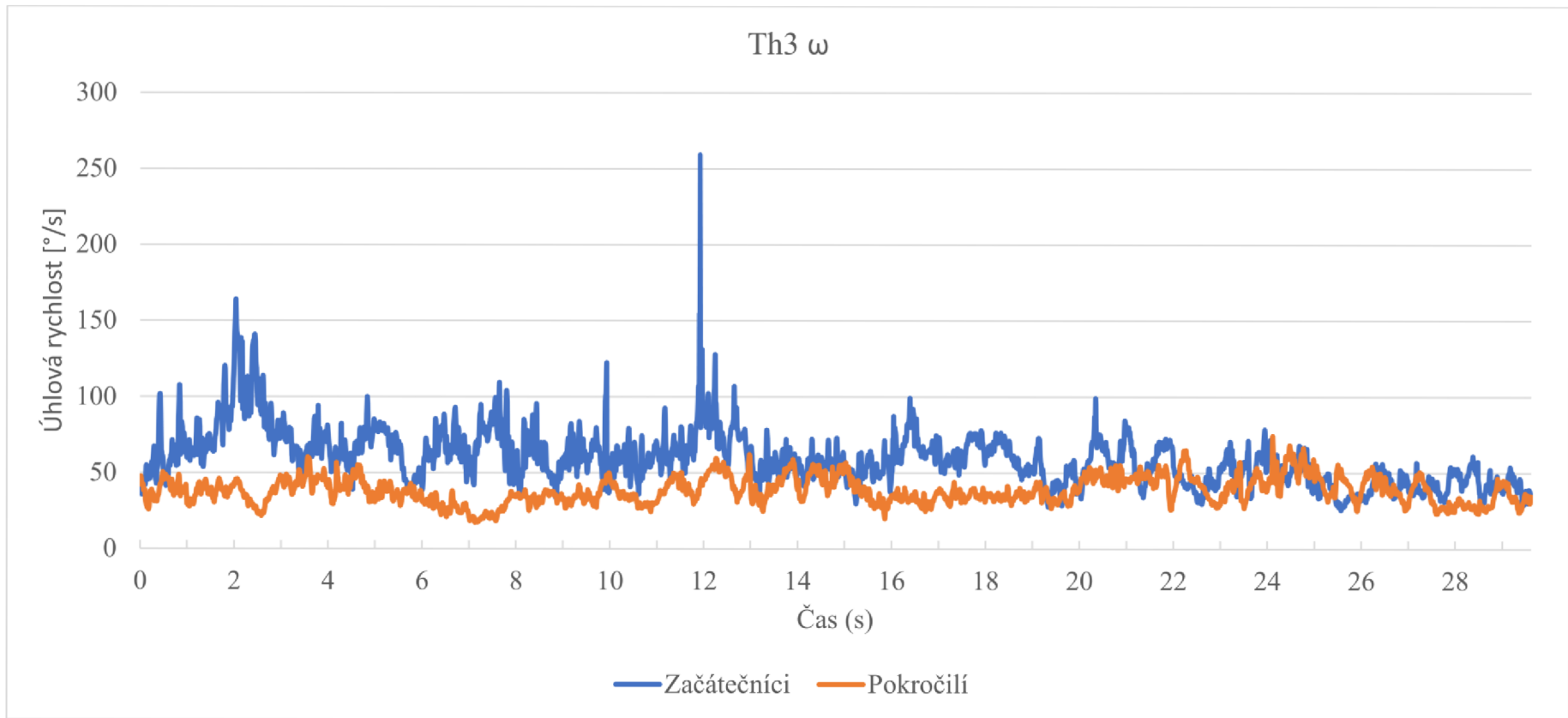
Obrázek 3. Graf variability zrychlení skupiny začátečníků a pokročilých z pravé paže.



Obrázek 4. Graf variability zrychlení skupiny začátečníků a pokročilých z pravého předloktí.



Obrázek 5. Graf variability zrychlení skupiny začátečníku a pokročilých z oblasti Th3.



Obrázek 6. graf variability úhlové rychlosti skupiny začátečníku a pokročilých z oblasti Th3.

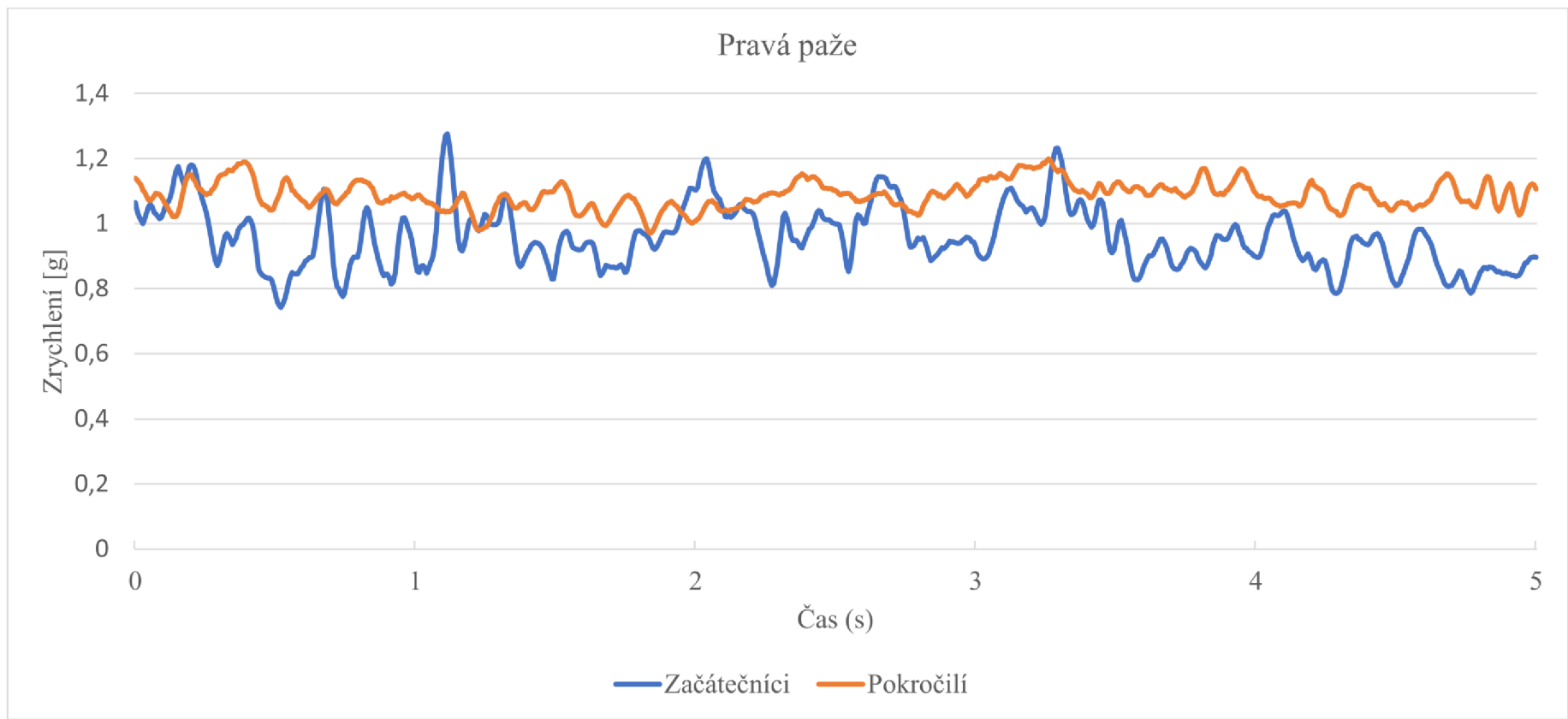
V tabulce 4 jsou prezentovány hodnoty variability zachlení a úhlové rychlosti při chůzi na slackline, avšak zde se jedná o měřený interval pěti vteřin. Statisticky významný rozdíl byl nalezen ve variabilitě zrychlení pravé paže (viz Obrázek 8.). U pokročilých je variabilita zrychlení menší než u začátečníků.

Tabulka 4

Dynamická úloha chůze – porovnání variability zrychlení a úhlové rychlosti u skupiny pokročilých a začátečníků při čistém provedení intervalu pěti vteřin

Umístění senzoru	Pokročilí	Začátečníci	Významnost	
	(n = 10)	(n = 7)	p	r
	Medián	Medián		
Paže P	0,15	0,24	0,025	0,533
Paže L	0,23	0,32	0,270	0,272
Předloktí P	0,28	0,32	0,364	0,225
Předloktí L	0,33	0,35	0,315	0,249
Ruka P	0,38	0,44	0,364	0,225
Ruka L	0,30	0,36	0,315	0,249
Th3 Acc	0,05	0,10	0,161	0,343
Th3 ω	20,6	28,2	0,193	0,320
L5 Acc	0,05	0,08	0,193	0,320
L5 ω	21,3	23,2	0,601	0,130

Poznámka. P – pravá, L – levá, Th3 – 3. hrudní obratel, L5 – 5. bederní obratel. Acc – akcelerometr, ω – úhlová rychlost, p – hladina statistické významnosti, r – hodnocení věcné významnosti



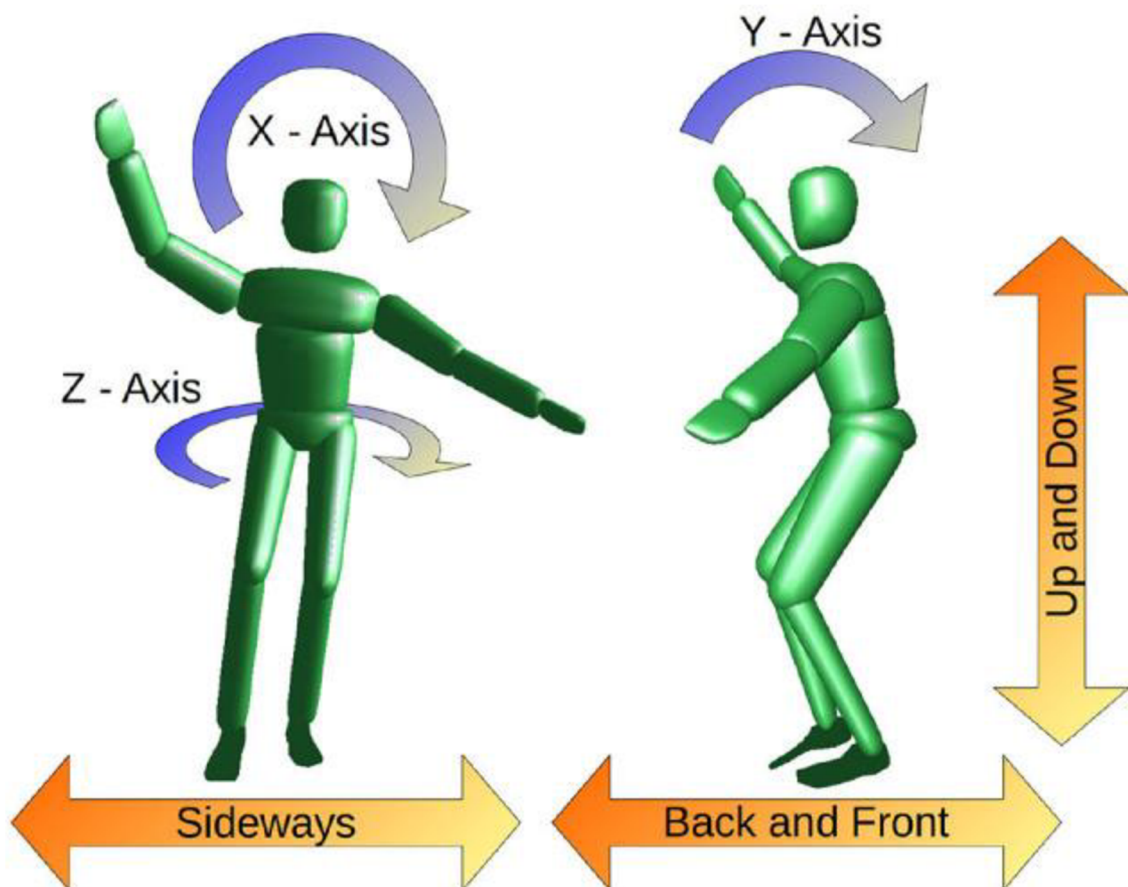
Obrázek 7. Graf variability zrychlení skupiny začátečníku a pokročilých z pravé paže v intervalu 5 s.

6 Diskuse

6.1 Statická úloha

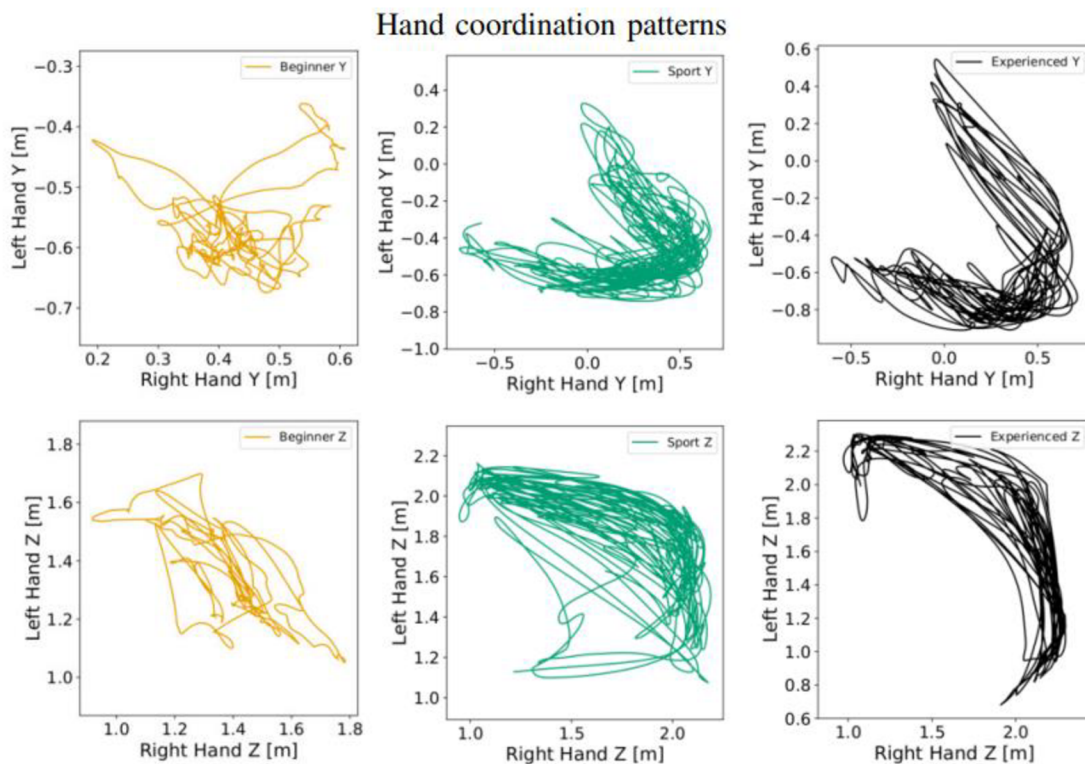
Výsledky statické úlohy neukázaly žádné statisticky významné rozdíly mezi skupinami pokročilých a začátečníků. Jedním z důvodů mohla být relativně vysoká motorická úroveň obou skupin, neboť se skupina začátečníků skládala ze studentů Fakulty Tělesné Kultury, kdy se většina z nich aktivně věnuje sportu.

Během statické úlohy je těžiště promítáno do opěrné báze, není třeba vyrovnávat jeho vychýlení mimo bázi, jako tomu je u dynamické úlohy (Trojan et al., 2005). I když pohyb dolní končetiny nebyl předmětem našeho výzkumu, tak se nestojná dolní končetina významně podílí na udržení rovnováhy (Mildren et al., 2018). Nestojná dolní končetina slouží jako další punctum mobile společně s horními končetinami, díky kterým slackliner aktivně získává rovnováhu a úloha je tedy jednodušší. To může snižovat rozdíl mezi pokročilými a začátečníky (Kolář, 2009). Udržování rovnováhy při statické úloze výrazně snižuje vychýlení těžiště kolem os Z a Y (obrázku 8.), což umožňuje začátečníkům zaměřit se dominantně na udržování rovnováhy kolem osy X, tedy ve frontální rovině (Reyes-Ferrada et al., 2021).



Obrázek 8. Ilustrace pohybu CoM (Center of Mass; hmotný střed) v různých směrech (Reyes-Ferrada et al., 2021).

Studie autorů Stein & Mombaur (2019) zkoumala také pohybové vzorce horních končetin. Na obrázku 9. pozorujeme rozdíly mezi třemi skupinami odlišné úrovně dovedností na slackline. U začátečníků vidíme, že neexistuje jasný pohybový vzorec pohybu rukou a pohyb je nekoordinovaný. Zkušení slacklineři předvádějí velmi podobné pohybové vzorce paží v průběhu celého měření, aby udrželi rovnováhu. To vede ke vzniku jasného pohybového vzorce, který u začátečníků nepozorujeme. I přes to jsou začátečníci schopni rovnováhu po určitou dobu udržet, ale lze říct, že jejich koordinace je oproti zkušeným slacklinerům horší. Skupina začátečníků z Fakulty tělesné kultury by se pravděpodobně nacházela na pomezí kategorií „beginners“ a „sport“ ve studii Stein a Mombaur (2019).



Obrázek 9. Pohybové vzorce paží při udržování rovnováhy v průběhu statické úlohy stoje na jedné noze: pozice pravé ruky je zobrazena na ose x a pozice levé ruky na ose y. Horní řada ukazuje mediálně-laterální pohyb, spodní řada pohyb nahoru-dolů. (Stein & Mombaur, 2019).

Na rozdíl od dynamické úlohy je CNS schopna při statické úloze vícekrát opravovat pohyby při nabývání rovnováhy (Véle, 1997). Uzavřená smyčka zpětné kontroly

informací ze sensorické složky probíhá při řízení rovnováhy při statické úloze také lépe, než při úloze dynamické (Peterka, 2018). Tyto faktory by mohly vyrovnávat rozdíl mezi skupinou pokročilých a začátečníků.

Celkově můžeme říct, že je statická úloha jednodušší i z pohledu koordinačních schopností, neboť pro skupinu začátečníků vzniká méně neočekávaných a různorodých pohybů a mají více času, aby spolupráce sensorických informací, CNS a pohybového aparátu měla za následek harmonický komplexní pohyb, na rozdíl od úloh dynamické.

Hypotézu menší variability zrychlení horních končetin a menší variabilitu úhlové rychlosti trupu u pokročilých slacklinerů při statické úloze můžeme zamítnout. Důvodem může být relativně vysoká motorická úroveň skupiny začátečníků a nižší obtížnost statické úlohy.

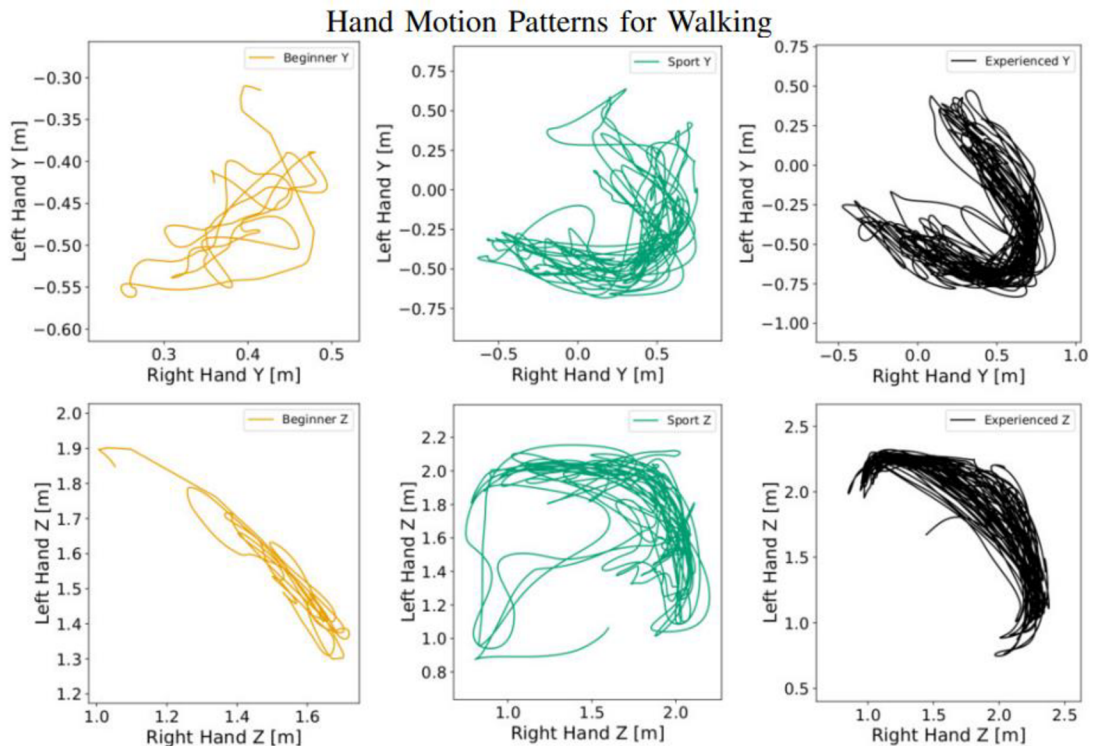
6.2 Dynamická úloha

Hlavním zjištěním této studie je vyšší variabilita zrychlení na téměř všech zkoumaných částech těla u skupiny začátečníků ve srovnání s pokročilými. To obecně signalizuje lepší rovnováhu pokročilých slacklinerů. Měkota a Novosad (2005) uvádějí, že díky vyšší úrovni rovnováhové schopnosti je možné reagovat i na menší vychýlení těžiště. Lze to tedy interpretovat tak, že pokročilí slacklineři mohou dříve a rychleji reagovat na vychýlení těžiště a uskutečnit tak kratší a přesnější pohyb pažemi a trupem, který by vedl k nižším hodnotám z akcelerometrů.

Pokud se zaměříme na pohyb trupu, tak u pokročilých slacklinerů byla zjištěna menší variabilita pohybu. Dle Koláře (2009) to může být chápáno tak, že pokročilí slacklineři vytvářejí stabilní a pevné punctum fixum, které je základem pro slacklinerskou rovnovážnou strategii (Kodama et al. 2016, 2021), která je založena na koordinovaném pohybu horních končetin při získávání rovnováhy opačným směrem, než je vychýleno těžiště slacklinera při dynamických úlohách. Za předpokladu, že touto bimanuální koordinací a lepší schopností stabilizovat trup disponuje skupina pokročilých slacklinerů může to být právě jedním z důvodů, díky kterým dosahují nižších hodnot variability zrychlení než začátečníci. Neklidnost končetin a stabilitu trupu a hlavy u zkušených slacklinerů pozorovala také Kuchařová (2015).

Podobně jako u statické úlohy stoje na jedné noze ukazuje studie Stein a Mombaur (2019) pohybové vzorce horních končetin. Na obrázku 10. pozorujeme jasné vytvoření pohybového vzorce, který je čím dál tím víc koordinovaný se zvyšující se úrovní

dovedností na slackline. To poukazuje na lepší koordinaci horních končetin zkušenějších slacklinerů, ovšem tyto údaje nemusí být zcela zřejmé z variability zrychlení.



Obrázek 10. Pohybové vzorce paží při udržování rovnováhy v průběhu dynamické úlohy chůze: pozice pravé ruky je zobrazena na ose x a pozice levé ruky na ose y. Horní řada ukazuje mediálně-laterální pohyb, spodní řada pohyb nahoru-dolů. (Stein & Mombaur, 2019).

Dalším stěžejním faktorem ovlivňujícím koordinační schopnosti je kvalita senzoryckých informací a adekvátní reakce (Goodworth & Peterka, 2012; Peterka, 2018; Stepan, 2009; Varghese et al., 2015). Schopnost vzájemné integrace všech tří senzoryckých složek (zraková, vestibulární a proprioceptivní) by mohla mít pozitivní vliv na rovnováhu slacklinera (Redfern et al., 2001). Ať už se jedná o samotný poměr využití jednotlivých senzoryckých složek, nebo drobnosti jakými je například kvantitativní a kvalitativní citlivost receptorových vlásků ve statickém čidle vestibulárního ústrojí mohou pravděpodobně hrát roli v koordinačních schopnostech spojených s rovnováhou na slackline (Goldberg, 2016; Seemungal, 2015; Orel et al., 2010).

Dalším faktorem, který úzce souvisí se senzoryckým systémem je zpracování jeho informací v CNS. Tato schopnost a její rychlost a přesnost bude pravděpodobně hrát roli v udržení rovnováhy. Ať už se jedná o ovlivnění axiálních a proximálních svalových

skupin a koordinace synergistů prostřednictvím mozkového kmene, nebo schopností prostorové orientace a udržování rovnováhy díky vestibulárnímu mozečku, nebo schopností ukončit pohyb v přesně zamýšleném cíli, čemuž napomáhá spinální mozeček, a další schopnosti CNS budou hrát důležitou roli v koordinaci během statických a dynamických úlohách na slackline (Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Králíček, 2002; Čihák, 2002). Studie efektu tréninku na slackline autorů Dordevic et al. (2017), kde tréninková skupina absolvovala celkem 12 tréninkových jednotek zaměřených na rovnovážná cvičení na slackline po dobu 1 měsíce, poukazuje na zlepšení schopnosti prostorové orientace závislé na vestibulárním systému. Trénink na slackline měl pozitivní vliv na zlepšení funkce vestibulárního systému a také jeho lepší konektivitu s oblastí spánkového laloku zodpovědného za orientaci v prostoru.

Efekt tréninku na slackline se také výrazně ovlivňuje stabilizaci trupu při dynamických úlohách. Zejména u zkušených slacklinerů nedochází k tak významným vychylováním ve všech osách jako u začátečníků. Klíčovým faktorem je rotace trupu. Začátečníci dosahují průměrně o 11 °/s vyšší úhlové rychlosti v trupu než u zkušených slacklineřů. Zkušení slacklineři jsou schopni lépe držet paže kolmo ke slackline a efektivněji udržovat rovnováhu. Během dynamické úlohy chůze totiž dochází k vychylování těžiště po všech osách dle obrázku 8.. Strídání nohou při chůzi má za následek rotaci trupu po ose Z. To má za následek změny úhlu svírajícího mezi pažemi a slackline, kdy jeho vychýlení od optimální kolmé polohy zhoršuje zajišťování rovnováhy. Dále odhaluje, že začátečníci se při chůzi na slackline více vychylují v mediální rovině průměrně o 6 °/s, a že začátečníci používali průměrně menší rozsah pohybu v loketním a ramenním kloubu. To naznačuje, že zkušení slacklineři mají větší rozmanitost póz, ve kterých jsou schopni udržet rovnováhu. Tyto faktory by mohly ovlivňovat lepší výsledky, tedy nižší variabilitu pohybu pokročilých slacklinerů oproti začátečníkům při dynamické úloze, protože zkušení slacklineři opravují během udržování rovnováhy menší výchyly těžiště. (Stein & Mombaur, 2022).

Reyes-Ferrada et al. (2021) dále popisují lepší koordinaci svalstva středu těla u pokročilých slacklinerů. Probandy rozdělili do dvou skupin: zkušené slacklinery (n = 9, věku 24.5 ± 3.6 let) a skupinu, která se slackline neměla žádné zkušenosti (n = 9, věk 23.2 ± 3.3 let). Pro diagnostiku svalů středu těla byl použit "McGill torso battery test". Výsledky studie odhalily, že zkušení slacklineři, kteří měli zkušenosti se slackline minimálně dva roky, dosahovali při McGillově testové baterii průměrně lepších výsledků. Nejvýraznější rozdíl byl v rovnovážném testu "star excursion balance test"

v dynamických podmínkách (postavení na Bosu). Ve výše zmíněném testu byl u zkušených slacklinerů pozorován o 37.8 % lepší výsledek v průměru oproti začátečníkům a při rovnovážné úloze na nedominantní noze dokonce o 46.6% lepší výsledek než u skupiny bez zkušeností.

Mimo jiné pro udržení rovnováhy v dynamických podmínkách je důležitá prostorová stabilizace hlavy. Pro začátečníky tak může být klíčovým faktorem vedoucím ke zlepšení rovnováhy na slackline. Předpokládá se, že zkušení slacklineři dosahují lepší stabilizace, což má nejen přímý vliv na vychýlení těžiště, ale také na senzomotorický systém (vestibulární systém a zrakový systém), který je ovlivňován pohyby hlavou (Schärli et al., 2013).

Možným vysvětlením statisticky významného rozdílu pouze u hodnot z pravé paže by mohla být v laterality. Konkrétně v laterální preferenci a dominanci dle Měkoty (1984), kde popisuje upřednostňování jedné končetiny společně s její lepší efektivitou a rychlostí. Sainburg & Kalakanis (2000) zároveň popisuje, že tato laterality je výraznější při specifitějších a složitějších úkolech, tedy při dynamické úloze se může projevit více než při úloze statické.

Hypotézy menší variability zrychlení horních končetin a menší variability úhlové rychlosti trupu u pokročilých slacklinerů při dynamické úloze potvrzujeme jak pro trup, tak pro horní končetiny. Statisticky významné rozdíly jsme nenalezli ve všech pozorovaných částech těla. I přes to, že pozorujeme v některých segmentech těla u pokročilých slacklinerů nižší variabilitu pohybu poukazující na lepší koordinaci pokročilých slacklinerů.

6.3 Limity studie

Do limitů naší studie patří zejména poměrně malý výzkumný soubor. Další limitou je využití pouze jednoho zdroje dat inerciálních senzorů, díky kterým dokážeme posoudit variabilitu zrychlení, či variabilitu úhlové rychlosti. Nemáme tedy optimální kontrolu například pohybového vzorce, který může pro udržení rovnováhy být nevhodný. Při použití kamerového systému by tato kontrola byla možná, avšak zpracování dat je poměrně náročné. Měření bylo také realizováno mimo hlavní sezónu slackline, což mohlo mít negativní vliv na dovednosti pokročilých slacklinerů z důvodu delší doby bez absolvování tréninků na slackline.

7 Závěry

Příkládaná práce se zabývá porovnáním variability pohybu trupu a horních končetin u pokročilých a méně zkušených slacklinerů. Výsledky výzkumu ve statické úloze neukázaly žádné statisticky významné rozdíly mezi skupinou pokročilých slacklinerů a začátečníků ve variabilitě zrychlení trupu a horních končetin, ani ve variabilitě úhlového zrychlení trupu. Hodnoty variability začátečníků ve srovnání s pokročilými byly mírně vyšší, a tedy naznačují lepší koordinaci pokročilých slacklinerů.

V případě dynamické úlohy výsledky ukázaly statisticky významné rozdíly ve variabilitě zrychlení pravé paže, pravého předloktí a úhlového zrychlení trupu (Th3). Můžeme tedy říci, že pokročilí slacklineři dosahují významně nižší variability pohybu v pozorovaných částech těla, což poukazuje na jejich lepší stabilitu trupu i horních končetin. Vliv na lepší koordinaci pokročilých slacklinerů a tedy i nižší variabilitu pohybu trupu a horních končetin může souviset také s lepší rovnovážnou strategií, stabilnějším středem těla, kvalitou senzomotorických informací a efektivitou jejich zpracování v CNS.

8 Souhrn

Slackline je mladým, rychle se rozvíjejícím sportem, pro který je stěžejní úroveň rovnováhy. Pokročilí slacklineři vykazují lepší rovnovážné schopnosti než nezkušení či začátečníci. Pro zajištění rovnováhy na slackline je charakteristický pohyb paží a zpevnění středu těla. Cílem práce bylo porovnat variabilitu pohybu trupu a horních končetin během statických a dynamických úloh na slackline u pokročilých a méně zkušených slacklinerů.

Výzkumu se zúčastnilo 18 probandů, kteří byli rozděleni do skupiny začátečníků ($n = 8$) a pokročilých ($n = 10$) na základě jejich praktických dovedností a době, po kterou se aktivně věnují slackline. Každý proband podstoupil dvě měřené úlohy na slackline. Jednalo se o statickou úlohu stoje na jedné noze a dynamickou úlohu chůze, během kterých byla na vybraných místech těla zaznamenána variabilita zrychlení a variabilita úhlové rychlosti horních končetin a trupu pomocí inerciálních senzorů (Trigno Wireless System, Delsys Inc., Boston, MA). Naměřené hodnoty byly následně statisticky zpracovány a porovnávány mezi oběma skupinami.

Měření ukázalo poměrně malé rozdíly mezi skupinami začátečníků a pokročilých při statické úloze stoje na jedné noze na slackline. Při měření dynamické úlohy chůze na slackline jsme zjistili statisticky významné rozdíly, kdy pokročilí slacklineři mají nižší variabilitu zrychlení v oblasti pravé paže, pravého předloktí a trupu v oblasti Th3 a nižší variabilitu úhlového zrychlení trupu v oblasti Th3 oproti skupině začátečníků. Tyto výsledky poukazují na lepší koordinaci trupu a horních končetin pokročilých slacklinerů, která může být ovlivněna lepšími rovnovážnými strategiemi, kvalitou senzomotorických informací a efektivitou jejich zpracování v CNS.

9 Summary

Slackline has been a young, fast-growing sport that requires a high level of balancing skill. Advanced slackliners show better balancing skills than inexperienced or beginners. To guarantee balance on the slackline, it is essential to coordinate the arm movement and stabilize the torso. The objective of the thesis was to compare variability of torso and upper arms movements during static and dynamic tasks on the slackline between groups of advanced and less experienced slackliners.

The research that involved the interaction of 18 probands that were divided into a group of beginners ($n = 8$) and a group of advanced ($n = 10$). The sort conditions were the practical skills of the proband, and time actively spent on slackline activities. Each proband passed two measured tasks on the slackline. The first one was a static task consisting of standing on one leg. The second task was a dynamic exercise of walking when the acceleration variability and angular velocity variability of the upper arms and torso were measured. The measurement was done by inertial sensors (Trigno Wireless System, Delsys Inc., Boston, MA). The obtained data values were subsequently evaluated and compared from a statistical point of view.

The experiments provided relatively small differences between beginner group and advanced group within the first exercise, i.e., the static task of standing on one leg on the slackline. On the other hand, the dynamic exercise of walking on the slackline showed a significant difference among both groups. The advanced group of slackliners resulted in lower variability in the movement of the right arm, the right forearm, and the torso in Th3 segment as well as lower variability in the angular acceleration of the torso in Th3 segment. The obtained results prove a higher level of stability in the group of advanced slackliners. The results achieved by the advanced group are most likely because of better balancing abilities, better processing of sensorimotor information by central nervous system and, also better overall coordination skills.

10 Referenční seznam

- Aldridge, J. W., Berridge, K. C., & Rosen, A. R. (2004). Basal ganglia neural mechanisms of natural movement sequences. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 82(8–9), 732–739. <https://doi.org/10.1139/y04-061>
- Ambler, Z. (2006). *Základy neurologie*. Praha: Galén.
- Ashburn, H. (2013). *How to Slackline!: A Comprehensive Guide to Rigging and Walking Techniques for Tricklines, Longlines, and Highlines*. Globe Pequot Press.
- Baker, J., Paturel, J. R., & Kimpinski, K. (2019). Cerebellar impairment during an orthostatic challenge in patients with neurogenic orthostatic hypotension. *Clinical Neurophysiology*, 130(1), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.07.026>
- Banks, R. W., Ellaway, P. H., Prochazka, A., & Proske, U. (2021). Secondary endings of muscle spindles: Structure, reflex action, role in motor control and proprioception. *Experimental Physiology*, 106(12), 2339–2366. <https://doi.org/10.1113/EP089826>
- Bednarczyk, G., Wiszomirska, I., Rutkowska, I., & Skowroński, W. (2019). Effects of sport on static balance in athletes with visual impairments. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(8). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.09089-8>
- Bedřich, L. (2006). *Fotbal - rituální hra moderní doby* (1. vyd.). Masarykova univerzita.
- Čelikovský, S. (1984). *Antropomotorika pro studující tělesnou výchovu* (1. vyd.). Státní pedagogické nakladatelství.
- Čihák, R. (2002). *Anatomie 3* (2. vyd.). Granada.
- Číž, I., & Zeman, D. (2009). *Ako na BOSU: metodická příručka cvičení na BOSU. Športujeme*.
- Deniau, J. M., Maily, P., Maurice, N., & Charpier, S. (2007). *The pars reticulata of the substantia nigra: a window to basal ganglia output* (pp. 151–172). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)60009-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)60009-5)
- Diener, H. C., Dichgans, J., Guschlbauer, B., & Mau, H. (1984). The significance of proprioception on postural stabilization as assessed by ischemia. *Brain Research*, 296(1), 103–109. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(84\)90515-8](https://doi.org/10.1016/0006-8993(84)90515-8)
- Doležal, M., & Jebavý, R. (2013). *Přirozený funkční trénink*. Granada Publishing, a.s.
- 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>
- Dovalil, J. (2009). *Výkon a trénink ve sportu* (4. vyd.). Olymoia.
- Drnková, Z., & Syllabová, R. (1991). *Záhada leváctví a praváctví* (2. vyd.). Avicenum.
- Dvořák, R. (2003). *Základy kinezioterapie* (2. vyd.). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of Human Movement* (4.th). Human Kinestics.
- Espejo-Antúnez, L., Pérez-Mármol, J. M., Cardero-Durán, M. de los Á., Toledo-Marhuenda, J. V., & Albornoz-Cabello, M. (2020). The Effect of Proprioceptive Exercises on Balance and Physical Function in Institutionalized Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 101(10), 1780–1788. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.06.010>
- Federici, A., Zumbo, F., Lucertini, F., & Marini, C. F. (2020). Proprioceptive training and sports performance. *Journal of Human Sport and Exercise - 2020 - Summer Conferences of Sports Science*. <https://doi.org/10.14198/jhse.2020.15.Proc4.17>
- Gauchard, G. C., Jeandel, C., & Perrin, P. P. (2001). Physical and Sporting Activities Improve Vestibular Afferent Usage and Balance in Elderly Human Subjects. *Gerontology*, 47(5), 263–270. <https://doi.org/10.1159/000052810>
- Gidu, D. V., Badau, D., Stoica, M., Aron, A., Focan, G., Monea, D., Stoica, A. M., & Calota, N. D. (2022). The Effects of Proprioceptive Training on Balance, Strength, Agility and Dribbling in Adolescent Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2028. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042028>
- Goldberg, J. M. (2016). Vestibular Inputs: The Vestibular System. In *Neuroscience in the 21st Century* (pp. 1007–1054). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3474-4_30
- Goodworth, A. D., & Peterka, R. J. (2012). Sensorimotor integration for multisegmental frontal plane balance control in humans. *Journal of Neurophysiology*, 107(1), 12–28. <https://doi.org/10.1152/jn.00670.2010>
- Guinnessworldrecords. (2022). *Longest slackline walk*. <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/95883-longest-slackline-walk>
- Hammami, R., Behm, D. G., Chtara, M., Othman, A. Ben, & Chaouachi, A. (2014). Comparison of Static Balance and the Role of Vision in Elite Athletes. *Journal of*

- Human Kinetics*, 41(1), 33–41. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0030>
- Hanuš, J., & Dostál, J. (2022). *SLACKLINE SET EQB TRICK 20 M*.
<https://www.slackshop.cz/cs/pro-zacatecniky/8-eqb-trick-20-m.html>
- Havel, Z., & Hnízdil, J. (2010). *Rozvoj a diagnostika koordináčnych a pohyblivostných schopností* (1. vyd.). Univerzita Mateja Bela.
- Hirtz, P. (1988). *Koordinative Fähigkeiten im Schulsport : vielseitig, variationsreich, ungewohnt* (2. vyd.). Volk u. Wissen.
- Hirtz, P. (1997). *Psychomotorisch-koordinative Fähigkeiten* (2. vyd.). Universität Gesamthochschule.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(suppl_2), ii7–ii11. <https://doi.org/10.1093/ageing/afl077>
- Janura, M., & Janurová, E. (2007). *Fyzikální základ biomechaniky* (1. vyd.). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Jebavý, R., & Zumr, T. (2014). *Posilování s balančními pomůckami* (2. vyd.). Grada Publishing, a.s.
- Junqueira, L. C., Carneiro, J., & O. Kelley, R. (1997). *Základy histologie* (7. vyd.). H&H.
- 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>
- Kimberly, W. (2017). *The history of slack*. Hownot2.
<https://www.hownot2.com/historyofslack>
- Kodama, K., Kikuchi, Y., & Yamagiwa, H. (2016). Relation between bimanual coordination and whole-body balancing on a slackline. *CogSci 2016*, 794–799.
- Kodama, K., Yamagiwa, H., & Yasuda, K. (2021). Bimanual Coordination in a Whole-Body Dynamic Balance Sport, Slacklining: A Comparison of Novice and Expert. *Motor Control*, 25(3), 462–474. <https://doi.org/10.1123/mc.2020-0113>
- Kolář, P. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi* (1. vyd.). Galén.
- Králiček, P. (2002). *Úvod do speciální neurofyziologie* (2. vyd.). Karolinum.
- Kuchařová, A. (2015). *Lowline: metody učení, organizace prostoru*. Univerzita Karlova v Praze.
- Kváš, O. (2013). *Metodická příručka slackline 1*. Česká asociace slackline, o.s.

- Laser, T. (1995). *Trápí vás ploténky?* (1. vyd. v). Erika.
- Lestienne, F., Soechting, J., & Berthoz, A. (1977). Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Experimental Brain Research*, 28–28(3–4).
<https://doi.org/10.1007/BF00235717>
- Loffing, F., Hagemann, N., Strauss, B., & MacMahon, C. (2016). *Laterality in Sports Theories and Applications* (1st editio). Academic Press.
- Měkota, K. (1984). Syntetická studie o pohybové lateralitě. *Tělovýchova a Sport*, 3, 93–122.
- Měkota, K., & Novosad, J. (2005). *Motorické schopnosti* (1. vyd.). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Mildren, R. L., Zaback, M., Adkin, A. L., Bent, L. R., & Frank, J. S. (2018). Learning to balance on a slackline: Development of coordinated multi-joint synergies. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(9), 1996–2008.
<https://doi.org/10.1111/sms.13208>
- Orel, M., Facová, V., & Kol., A. (2010). *Člověk, jeho smysly a svět* (1. vyd.). Granada Publishing, a.s.
- Patel, V. R., & Zee, D. S. (2015). The cerebellum in eye movement control: nystagmus, coordinate frames and disconjugacy. *Eye*, 29(2), 191–195.
<https://doi.org/10.1038/eye.2014.271>
- Perič, T. (2012). *Sportovní příprava dětí* (nové, aktu). Granada.
- Peterka, R. J. (2018). *Sensory integration for human balance control* (pp. 27–42). Handbook of Clinical Neurology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00002-1>
- Ragnarsdóttir, M. (1996). The Concept of Balance. *Physiotherapy*, 82(6), 368–375.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)66484-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)66484-X)
- Redfern, M. S., Yardley, L., & Bronstein, A. M. (2001). Visual influences on balance. *Journal of Anxiety Disorders*, 15(1–2), 81–94. [https://doi.org/10.1016/S0887-6185\(00\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0887-6185(00)00043-8)
- Reyes-Ferrada, W., Plaza, P., Jerez-Mayorga, D., Chiroso-Rios, L., & Peñailillo, L. (2021). Effects of slackline training on core endurance and dynamic balance (Efectos del entrenamiento en slackline sobre la resistencia del core y el equilibrio dinámico). *Retos*, 41, 756–763. <https://doi.org/10.47197/retos.v41i0.86262>
- Rounis, E., Lee, L., Siebner, H. R., Rowe, J. B., Friston, K. J., Rothwell, J. C., & Frackowiak, R. S. J. (2005). Frequency specific changes in regional cerebral blood

- flow and motor system connectivity following rTMS to the primary motor cortex. *NeuroImage*, 26(1), 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.01.037>
- Sainburg, R. L., & Kalakanis, D. (2000). Differences in Control of Limb Dynamics During Dominant and Nondominant Arm Reaching. *Journal of Neurophysiology*, 83(5), 2661–2675. <https://doi.org/10.1152/jn.2000.83.5.2661>
- Santos, L., Fernández-Río, J., Fernández-García, B., Jakobsen, M. D., González-Gómez, L., & Suman, O. E. (2016). Effects of Slackline Training on Postural Control, Jump Performance, and Myoelectrical Activity in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 653–664. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001168>
- 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>
- Schucht, P., Moritz-Gasser, S., Herbet, G., Raabe, A., & Duffau, H. (2013). Subcortical electrostimulation to identify network subserving motor control. *Human Brain Mapping*, 34(11), 3023–3030. <https://doi.org/10.1002/hbm.22122>
- Seemungal, B. M. (2015). The Components of Vestibular Cognition — Motion Versus Spatial Perception. *Multisensory Research*, 28(5–6), 507–524. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002507>
- Seitz, R. J., Huang, Y., Knorr, U., Tellmann, L., Herzog, H., & Freund, H.-J. (1995). Large-scale plasticity of the human motor cortex. *NeuroReport*, 6(5), 742–744. <https://doi.org/10.1097/00001756-199503270-00009>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2001). *Motor kontrol. Theory and practical applications* (2nd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Špringrová, P. I. (2010). *Funkce - Diagnostika - Terapie hlubokého stabilizačního systému* (1. vyd.). Rehaspring.
- Stein, K., & Mombaur, K. (2022). A Quantitative Comparison of Slackline Balancing Capabilities of Experts and Beginners. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.831362>
- Stein, K., & Mombaur, K. (2019). Performance indicators for stability of slackline balancing. *2019 IEEE-RAS 19th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, 469–476. <https://doi.org/10.1109/Humanoids43949.2019.9035004>
- Stepan, G. (2009). Delay effects in the human sensory system during balancing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and*

- Engineering Sciences*, 367(1891), 1195–1212.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0278>
- Strejcová, B., Šimková, L., & Baláš, J. (2012). Izokinetická síla hlezenního kloubu a posturální stabilita chodců na slackline. *Česká Kinantropologie*, 16(3), 101–108.
- Therrien, A. S., & Bastian, A. J. (2019). The cerebellum as a movement sensor. *Neuroscience Letters*, 688, 37–40. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.06.055>
- Trojan, S., Druga, R., Pfeifer, J., & Votava, J. (2005). *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka* (3. vyd.). Grada Publishing, a.s.
- Vala, M. (2014). *Slackline pohledem fyzioterapeuta*. <https://lajny.cz/pohledem-fyzioterapeuta>
- Vařeka, I. (2001). Lateralita ve vývojové kineziologii a funkční patologii pohybového systému. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, 8(2), 92–98.
- Vařeka, I. (2002). Posturální stabilita. Část 1. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, 4, 115–121.
- Vařeka, I. (2005). Lateralita - interdisciplinární problém. *Československá Psychologie*, 49(3), 237–249.
- Varghese, J. P., Beyer, K. B., Williams, L., Miyasike-daSilva, V., & McIlroy, W. E. (2015). Standing still: Is there a role for the cortex? *Neuroscience Letters*, 590, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.01.055>
- Véle, F. (1997). *Kineziologie pro klinickou praxi*. Granada.
- Waele, C. de, P., B., J., L., Huy, P. T. B., & P., V. (2001). Vestibular projections in the human cortex. *Experimental Brain Research*, 141(4), 541–551.
<https://doi.org/10.1007/s00221-001-0894-7>
- Zemková, E. (2011). *Fyziologické základy senzomotoriky*. ICM agency.

11 Přílohy

Příloha 1 – Vyjádření etické komise FTK UP



Fakulta
tělesné kultury

Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.
prof. Mgr. Erik Sigmund, Ph.D.
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Na základě žádosti ze dne 14. 12. 2018 byl projekt výzkumné práce (základního výzkumu)

Autor /hlavní řešitel/: Mgr. Denisa Nohelová

Spoluřešitelé: Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D., Mgr. Lucia Bizovská; Mgr. Lukáš Ondra

s názvem

Hodnocení dynamické rovnováhy v různých podmínkách

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **78/ 2018**
dne: **31. 12. 2018.**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitelka projektu splnila podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

za EK FTK UP
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.
předsedkyně

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury
Komise etická
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc