

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

**VYUŽITÍ DUÁLNÍCH ÚLOH PŘI HODNOCENÍ  
POSTURÁLNÍ KONTROLY**

**Disertační práce**

Autorka: Mgr. et Bc. Mirka Musilová

Pracoviště: Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci  
Školitel: prof. RNDr. Miroslav Janura, Dr.

Olomouc 2024

**Jméno a příjmení autorky:** Mgr. et Bc. Mirka Musilová

**Název disertační práce:** Využití duálních úloh při hodnocení posturální kontroly

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci

**Školitel:** prof. RNDr. Miroslav Janura, Dr.

**Rok obhajoby disertační práce:** 2024

**Abstrakt:**

**Východiska:** Disertační práce se zabývá hodnocením posturální kontroly s využitím kognitivních duálních úloh – simultánně prováděné kognitivní úkoly během posturálně náročných situací. **Cíl:** Cílem práce bylo ověřit vliv vybraných faktorů na posturální kontrolu a pracovní paměť během provádění duálních úloh. **Metodika:** Studie byla prováděna na čtyřech souborech participantů – zdraví mladí jedinci (ZMJ; 23 jedinců, průměrný věk 24,4 let), zdraví aktivní senioři (ZAS; 18 jedinců, průměrný věk 68,7 let), zdraví senioři z domovů pro seniory (ZS-DD; 24 jedinců, průměrný věk 80,6 let) a senioři s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory (PS-DD; 20 jedinců; průměrný věk 81,8 let). Data pro hodnocení posturální kontroly byla získána pomocí měření na silové plošině. Jako testové výkonové metody byly použity dva kognitivní úkoly – Brooks Spatial Memory Task a Zapamatování řady slov. **Výsledky:** Duální úlohy měly pozitivní vliv na úroveň posturální kontroly u všech souborů zdravých jedinců (ZMJ, ZAS a ZS-DD) a negativní vliv na výsledky kognitivních úkolů u všech skupin seniorů (ZAS, ZS-DD, PS-DD). Při porovnání souboru ZMJ a skupin zdravých seniorů (ZAS a ZS-DD) byl prokázán negativní vliv věku na úroveň obou složek duálních úloh (tedy na posturální i kognitivní úkoly). Vliv poruch rovnováhy ani u jedné složky duálních úloh prokázán nebyl. **Závěr:** V rámci výzkumu se podařilo prokázat negativní vliv věku na úroveň obou složek duálních úloh. Negativní vliv poruch rovnováhy na obě složky duálních úloh nebyl prokázán.

**Klíčová slova:** rovnováha, kognitivní úkol, pamětní úkol, posturální úkol, silová plošina, center of pressure, senioři, porucha rovnováhy.

Souhlasím s půjčováním disertační práce v rámci knihovních služeb.

**Author's first name and surname:** Mgr. et Bc. Mirka Musilová

**Title of the doctoral thesis:** Use of the dual tasks in the postural control assessment

**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology, Faculty of Physical Culture, Palacký University Olomouc

**Supervisor:** prof. RNDr. Miroslav Janura, Dr.

**The year of defense:** 2024

**Abstract:**

**Background:** This dissertation focuses on the assessment of postural control using cognitive dual tasks, which are cognitive tasks performed simultaneously in posturally demanding situations. **Objective:** The objective of this thesis was to examine the influence of selected factors on postural control and working memory during dual-task performance. **Methods:** The study was conducted on four sets of participants – healthy young individuals (ZMJ; 23 participants, average age 24.4 years), healthy active seniors (ZAS; 18 participants, average age 68.7 years), healthy seniors from retirement homes (ZS-DD; 24 participants, average age 80.6 years) and seniors with balance impairment from retirement homes (PS-DD; 20 participants average age 81.8 years.). Data to assess postural control were obtained using measurements on a force platform. Two cognitive tasks were used as methods of performance testing – the Brooks Spatial Memory Task and a Series of Words Task. **Results:** The dual tasks had a positive effect on the level of postural control in all groups of healthy young individuals (ZMJ, ZAS and ZS-DD) and a negative effect on the results of cognitive tasks in all groups of seniors (ZAS, ZS-DD, PS-DD). When comparing the ZMJ and the healthy senior groups (ZAS and ZS-DD), a negative effect of age on the performance level of both components of the dual tasks (i.e. on postural and cognitive tasks) was demonstrated. Conversely, no effect of balance impairment on either component of the dual tasks was proven. **Conclusion:** As part of the research, it was possible to demonstrate a negative effect of age on the performance level of both components of the dual tasks. Negative effect of balance impairment on both components of the dual tasks was not demonstrated.

**Key words:** balance, cognitive task, memory task, balance task, force platform, center of pressure, elders, balance impairment.

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

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovala samostatně pod vedením školitele prof. RNDr. Miroslava Janury, Dr., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Praze dne 12. 1. 2024

Ráda bych poděkovala zejména vedoucímu své disertační práce prof. RNDr. Miroslavu Janurovi, Dr., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, a především za čas, jež mi věnoval při zpracování práce. Rovněž bych chtěla poděkovat Mgr. Lucii Bizovské, Ph.D., za pomoc při realizaci měření, RNDr. Milanu Elfmarkovi za pomoc při statistickém zpracování dat a doc. PhDr. Boženě Bednaříkové, Dr., za jazykovou korekturu. Mé poděkování patří také personálu domovů pro seniory, který mi ochotně umožnil realizaci měření ve svých zařízeních, a samozřejmě všem participantům výzkumu. Děkuji také celé své rodině za podporu, již mi poskytla.

# OBSAH

1 ÚVOD.....	8
2 PŘEHLED POZNATKŮ .....	9
2.1 Posturální kontrola.....	9
2.1.1 Vymezení základních pojmů .....	9
2.1.2 Neurofyziologické mechanismy posturální kontroly .....	12
2.1.2.1 Senzorické systémy a senzorické strategie .....	15
2.1.2.2 Motorické procesy .....	18
2.1.2.3 Vyšší neurální procesy.....	21
2.2 Hodnocení posturální kontroly .....	22
2.2.1 Klinické hodnocení.....	23
2.2.2 Přístrojové měření .....	24
2.2.2.1 Kinetické metody .....	26
2.2.2.2 Kinematické metody.....	28
2.2.2.3 Hodnocení svalové aktivity .....	29
2.2.3 Standardizace a reliabilita posturografie .....	30
2.2.3.1 Technické požadavky .....	30
2.2.3.2 Požadavky na vyšetřovaného jedince.....	31
2.2.3.3 Způsob měření .....	32
2.2.3.4 Reliabilita parametrů COP .....	35
2.3 Posturální kontrola během kognitivních duálních úloh.....	39
2.3.1 Teoretický podklad kognitivních duálních úloh.....	39
2.3.2 Design výzkumů využívajících kognitivní duální úlohy .....	43
2.3.3 Limitace výzkumů využívajících kognitivní duální úlohy.....	46
2.3.4 Využití kognitivních duálních úloh ve výzkumu posturální kontroly .....	47
2.4 Vliv stárnutí na úroveň posturální kontroly .....	52
2.4.1 Regresní změny smyslových orgánů.....	55
2.4.1.1 Somatosenzorické systémy – propioceptory .....	56
2.4.1.2 Somatosenzorické systémy – exteroceptory.....	59
2.4.1.3 Zrak .....	60
2.4.1.4 Vestibulární systém .....	62
2.4.2 Regresní změny muskuloskeletálního systému.....	64
2.4.2.1 Skelet .....	64
2.4.2.2 Kosterní svaly.....	65
2.4.2.3 Ligamenta a šlachy .....	67
2.4.2.4 Chrupavčitá tkáň.....	67
3 CÍLE VÝZKUMU A HYPOTÉZY .....	68
3.1 Cíle výzkumu .....	68
3.2 Hypotézy .....	68
4 METODOLOGICKÝ RÁMEC A METODY.....	72
4.1 Realizace výzkumu.....	72
4.2 Výzkumné soubory .....	74

4.3 Metody získávání dat .....	75
4.3.1 Odběr anamnestických dat .....	76
4.3.2 Úvodí orientační vyšetření.....	76
4.3.3 Měření na silové plošině .....	77
4.3.4 Kognitivní úkoly .....	79
4.4 Průběh měření .....	84
4.4.1 Instruktažní část .....	85
4.4.2 Anamnéza a orientační vyšetření.....	85
4.4.3 Zácvik před testováním.....	85
4.4.4 Vlastní testování.....	87
4.5 Metody zpracování a analýzy dat.....	89
4.6 Etické aspekty výzkumu .....	90
5 VÝSLEDKY.....	92
5.1 Vliv duální úlohy na úroveň posturální kontroly .....	92
5.2 Vliv duální úlohy na výsledek kognitivního úkolu.....	98
5.3 Vliv věku na úroveň posturální kontroly.....	102
5.4 Vliv věku na výsledek kognitivního úkolu .....	107
5.5 Vliv poruch rovnováhy na úroveň posturální kontroly .....	110
5.6 Vliv poruch rovnováhy na výsledek kognitivního úkolu.....	112
6 DISKUSE.....	113
7 ZÁVĚRY .....	125
8 SOUHRN.....	126
8 SUMMARY.....	127
9 REFERENČNÍ SEZNAM.....	128
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	139
11 PŘÍLOHY DISERTAČNÍ PRÁCE .....	140

# 1 ÚVOD

Volbu tématu týkajícího se využití duálních úloh pro hodnocení posturální kontroly podnítila v odborné literatuře často řešená problematika zabývající se různými možnostmi jak rovnováhu hodnotit. První možností je volba klinického testu či celého testového systému. Výhodou klinického testování je uspokojivá simulace běžných každodenních situací. Podstatným nedostatkem je však nižší objektivita a reliabilita ve srovnání s druhou možností hodnocení posturální kontroly, jíž je přístrojové měření (posturografie). Posturografie zahrnuje měření rovnováhy na silových plošinách nebo pomocí různých typů pohybových či optických senzorů a je považována za objektivní a reliabilní laboratorní měření. Nevýhodou měření na silových plošinách je, že ne vždy se uspokojivě projeví rozdíl v kvalitě posturální kontroly vázaný na odlišný věk nebo rozdíl mezi zdravými jedinci a participanty s porušenou rovnováhou. Pokud je však posturální kontrola hodnocena při doplnění o kognitivní duální úlohy, rozdíly mezi různými skupinami probandů se zvyrazňují (např. Huxhold et al., 2006; Maylor & Wing, 1996; Maylor et al., 2001; Shumway-Cook & Woollancott, 2000). Situace, kdy je jedinec nucen věnovat se více činnostem současně, jsou navíc v běžném životě frekventované a je dokázáno, že v těchto situacích dochází často k pádům, zejména pak u seniorů s poruchou posturální kontroly (Tideiksaar, 1996; in Woollancott & Shumway-Cook, 2002). Kognitivní duální úlohy tak pomáhají v laboratorních podmínkách nasimulovat reálné každodenní situace, kdy je jedinec vystaven více úkolům náročným na kognitivní procesy současně.

Kognitivní duální úlohy jsou vhodnou možností pro prokazování rozdílné úrovně posturální kontroly u různých skupin populace nebo při aktivním vyhledávání jedinců s porušenou úrovní posturální kontroly spojenou s rizikem pádů. Mimo oblasti výzkumu a diagnostiky se kognitivní duální úlohy v současné době stávají oblíbenými cvičeními, která jsou nabízena v rámci rehabilitačních robotických systémů opatřených virtuální realitou s real-time zpětnou vazbou.

Možnosti použití kognitivních duálních úloh ve výzkumu poruch rovnováhy mne vedly k volbě tématu této práce.



## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Posturální kontrola

#### 2.1.1 Vymezení základních pojmů

Posturální kontrola (angl. *postural control*) je komplexní proces, jenž společně s lokomoční motorikou zabezpečuje stabilitu jednotlivých segmentů těla v klidu i v pohybu a zároveň zajišťuje pohyb tak, aby byl bezpečný a aby nedocházelo k nadměrnému zatěžování kloubů těla. Tyto dva systémy také tvoří základnu pro ideokinetickou (neboli jemnou) motoriku (Velé, 2006). Posturální kontrola představuje komplexní proces, jehož dvojným účelem je řízení posturální stability a řízení posturální orientace. Jinak řečeno, jedná se o řízení polohy těla v prostoru s cílem zajistit rovnováhu a správné postavení tělních segmentů vůči sobě i vzhledem k okolnímu prostředí a zamýšlené či prováděné činnosti (Horak, 2006; Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

Posturální stabilita (angl. *postural stability*) je definována jako schopnost udržovat tělo v rovnováze (angl. *equilibrium*), a to buď v rovnováze statické, nebo dynamické. Jinými slovy, posturální stabilita je schopnost udržovat projekci těžiště (center of mass, COM) v oblasti opěrné báze (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Vařeka a Vařeková (2009) posturální stabilitu popisují jako schopnost zajistit vzpřímené držení těla, a to pomocí reakcí na změny zevních a vnitřních sil s cílem zabránit nezamýšlenému nebo neřízenému pádu.

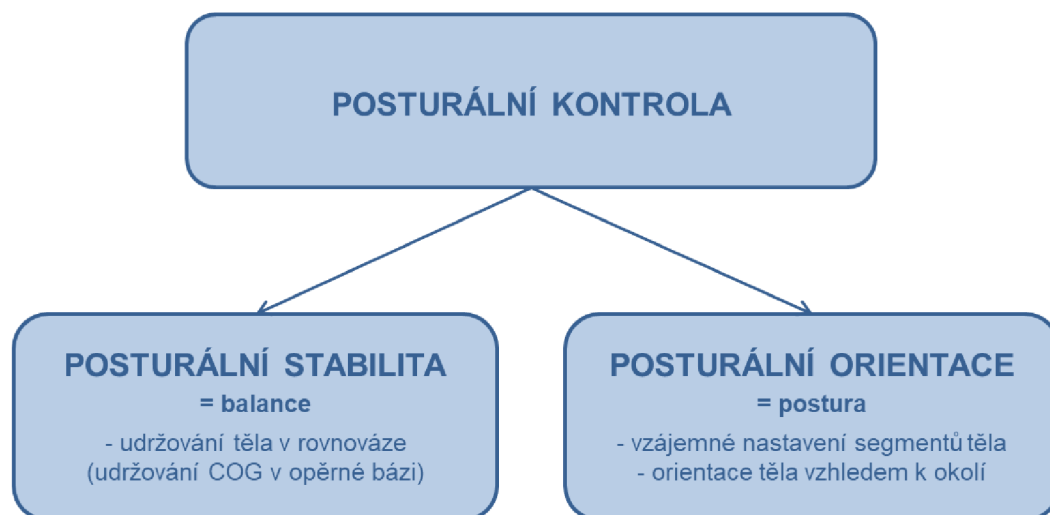
Posturální orientace (angl. *postural orientation*) je charakterizována jako schopnost udržovat správný vztah mezi jednotlivými tělními segmenty, celým tělem, zevním prostředím a prováděnou činností (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Podobnou definici uvádí Horak (2006), dle níž posturální orientace představuje aktivní řízení postavení celého těla (zejména pozice trupu a hlavy) a svalového tonu, a to s ohledem na působení gravitace, charakter podložky, okolní vizuální informace a stav vnitřního prostředí jedince.

Dalším termínem užívaným v kontextu dané tematiky je rovnováha či balance (angl. *balance*). Winter (1995) rovnováhu definuje jako dynamiku postury těla, která se snaží bránit pádu tím, že reaguje na setrvačné síly působící na tělo a tělní segmenty. Autoři

Shumway-Cook a Woollancott (2001) chápou rovnováhu jako synonymum pro posturální stabilitu. Taktéž Horak (2006) používá pojem rovnováha (resp. posturální rovnováha, angl. *postural equilibrium*) ve stejném smyslu jako termín posturální stabilita. Zajišťování posturální rovnováhy dle ní vyžaduje koordinaci senzomotorických strategií kontrolujících COM během zevně či vnitřně vyvolaných disturbancí.

Postura (angl. *posture*) bývá vysvětlována jako orientace či pozice tělních segmentů ve vztahu k vektoru gravitační síly (Winter, 1995). Vařeka a Vařeková (2009) zdůrazňují, že se jedná o držení segmentů, které je aktivní. Postura je zajišťována vnitřními silami, především svalovou aktivitou řízenou centrální nervovou soustavou (CNS). Zaujetí a udržování postury je důležitou součástí všech motorických programů, tedy nejen stoje, ale například i sedu a samozřejmě různých způsobů aktivní lokomoce. Shumway-Cook a Woollancott (2001) používají termín postura jako ekvivalent pojmu posturální orientace.

Vzájemný vztah jednotlivých pojmů používaných při popisu posturální kontroly je shrnut na Obrázku 1.



Obrázek 1. Termíny používané pro popis posturální kontroly.

Při popisu rovnováhy bývají využívány následující pojmy. Jedná se především o termíny opěrná plocha (angl. *area of support*) a opěrná báze (angl. *base of support*), center of mass, center of gravity (COG) a center of pressure (COP).

Opěrná plocha je chápána jako část podložky, která je v přímém kontaktu s částí těla, pomocí níž je realizována opora (Bizovská et al., 2017). Opěrnou bází je pak (pro situaci stoje na rovném pevném povrchu) myšlena plocha zahrnující kontakt chodidel s podložkou a oblast mezi chodidly (Nashner, 1997). Jinak řečeno, jedná se o plochu vymezenou laterálními částmi chodidel. V případě vzpřímené postury má opěrná báze tvar polygonu (Duarte & Freitas, 2010). Grafické znázornění vztahu opěrné plochy a opěrné báze je na Obrázku 2.



Obrázek 2. Grafické znázornění vztahu opěrné plochy a opěrné báze (upraveno dle Bizovská et al., 2017, 20).

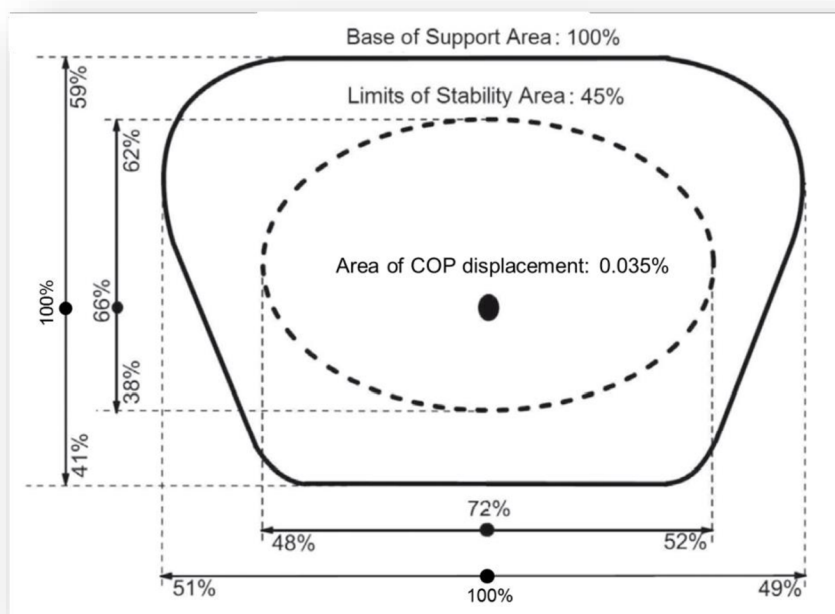
Velikost plochy opěrné báze ovlivňuje stabilitu jedince. Zvětšení opěrné báze (rozšířením vzdálenosti mezi chodidly) obvykle vede ke zvýšení stability, což se projeví snížením výchylek těla anebo zvýšením tzv. limitů stability (LOS, angl. *limits of stability*), a to v anteroposteriorním (AP) směru, v mediolaterálním (ML) směru nebo v obou směrech zároveň. Redukce plochy opěrné báze je naopak provázána snížením stability člověka a zvýšením výchylek těla (Duarte & Freitas, 2010).

S problematikou opěrné báze velice úzce souvisí koncept limitů stability. Limity stability lze chápat jako funkční opěrnou bázi, protože popisují podíl (procento) z opěrné báze, ve kterém je daný člověk schopen zůstat stabilní (Duarte & Freitas, 2010). V praxi to znamená maximální možné vychýlení COP do všech stran bez ztráty stability – tedy bez toho, aby jedinec upadl nebo byl nucen udělat úkrok. Příklad vztahu mezi opěrnou bází a limity stability (neboli funkční opěrnou bází) je vyjádřen na Obrázku 3.

COM neboli těžiště je popisováno jako bod představující (nahrazující) celkovou tělesnou hmotu v souřadnicovém systému. COM celého těla odpovídá váženému průměru COM jednotlivých tělních segmentů v třídimenzionálním systému. Pozice COM je kontrolována posturálním systémem, který se jej snaží udržet nad opěrnou bází (Winter, 1995).

COG je vertikální projekce COM do podložky (Winter, 1995).

COP je bod označující místo působení výsledného vektoru celkové reakční síly (angl. *ground reaction force*) a reprezentuje vážený průměr všech dílčích tlaků na podložku (Ruhe, Fejer, & Walker, 2010; Winter, 1995). COP je absolutně nezávislé na COM (Winter, 1995) a je nutné upozornit, že v literatuře často dochází k záměně jednotlivých pojmů – především COG a COP, ale i COM.



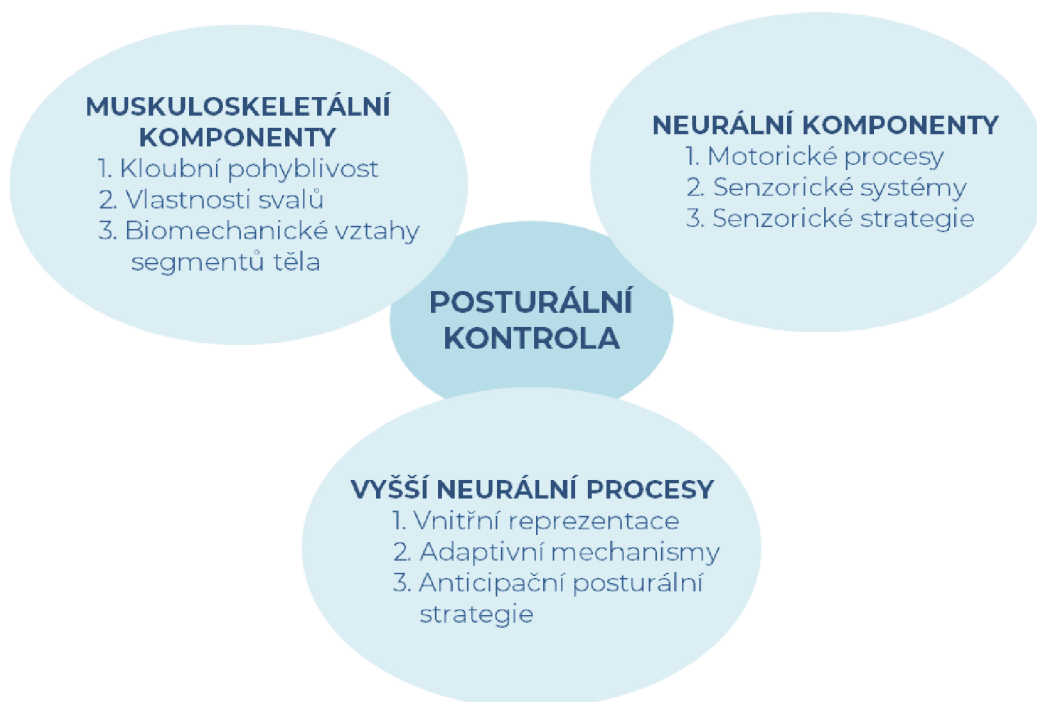
Obrázek 3. Příklad vztahu mezi opěrnou bází a limity stability neboli funkční opěrnou bází (upraveno dle Duarte a Zatsiorsky, 2002, 62).

## 2.1.2 Neurofyziologické mechanismy posturální kontroly

Neurofyziologické mechanismy posturální kontroly zahrnují jednak percepce, neboli integraci všech sensorických informací o pozici i pohybu těla v prostoru a jednak

výkonnou složku, neboli generování vnitřních sil určených k řízení polohy těla v prostoru (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Je zřejmé, že integrace senzoričkových vstupů i řízení svalů produkujících vnitřní síly probíhají na úrovni nervové soustavy (konkrétně na úrovni CNS). Proto je vhodné uvést ještě definici Vařeky a Vařekové (2009). Tito autoři chápou fungování posturální kontroly jako systém tříložkový, zahrnující složku senzoričkovou, řídicí a výkonnou. Složka senzoričková zahrnuje propiocepci, exterocepci, zrak a vestibulární aparát. Řídicí složku představuje CNS (tedy mozek a páteřní mícha) a výkonnou složkou je pak pohybový systém.

Ještě podrobnější pohled na strukturu posturální kontroly poskytuje konceptuální model autorů Shumway-Cook a Woollancott (2001). Tento model shrnuje jednotlivé systémy podílející se na posturální kontrole (Obrázek 4).

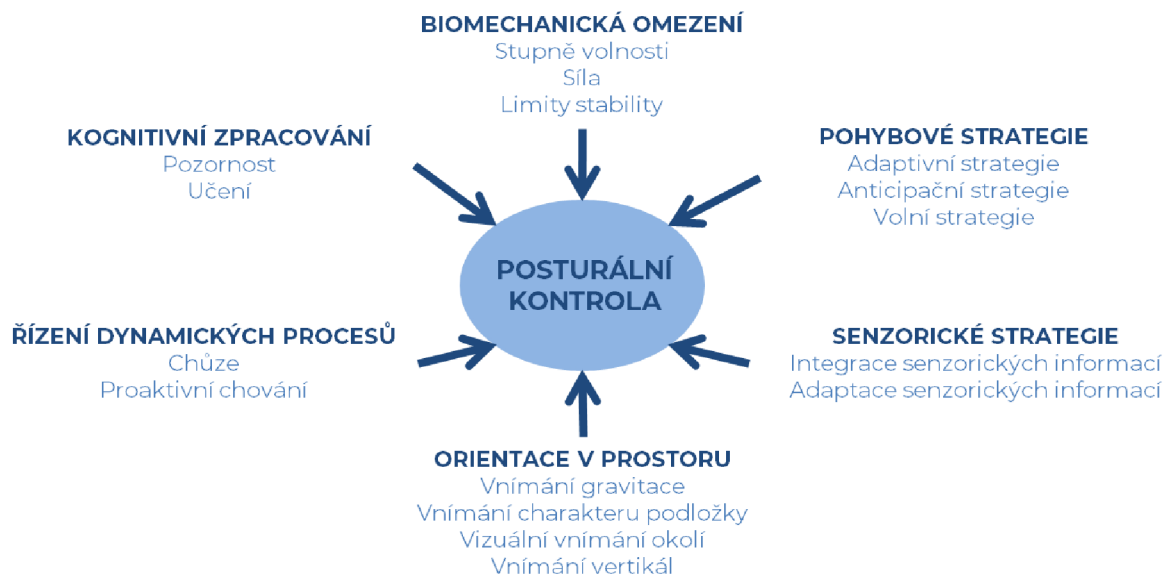


Obrázek 4. Konceptuální model systémů posturální kontroly (upraveno dle Shumway-Cook a Woollancott, 2001, 164–166).

Do systému muskuloskeletálních komponent patří kloubní pohyblivost, vlastnosti svalů a biomechanické vztahy mezi jednotlivými segmenty těla navzájem propojenými

pomocí kloubních spojení. Do systému neurálních komponent se řadí motorické procesy včetně neuromuskulárních synergií, jednotlivé sensorické systémy (zrak, propiocepce s exterocepcí a vestibulární systém) a sensorické strategie. Systém vyšších neurálních procesů zahrnuje tvorbu vnitřních reprezentací postury, kompenzační posturální strategie (adaptivní mechanismy) a anticipační posturální strategie (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

Horak (2006) popisuje šest hlavních zdrojů ovlivňujících fyziologické fungování posturální kontroly (Obrázek 5).



Obrázek 5. Hlavní zdroje ovlivňující fungování posturální kontroly (upraveno dle Horak, 2006, ii8).

V dalším textu je věnována pozornost sensorickým a motorickým strategiím, jež jsou hlavními součástmi posturální kontroly. Ačkoliv bývají sensorické a motorické strategie popisovány zvlášť, jedná se o neoddělitelný funkční celek, nazývaný jako senzomotorické strategie (angl. *sensorimotor strategies*).

### 2.1.2.1 Senzorické systémy a senzorické strategie

Senzorické strategie (angl. *sensory strategies*) probíhají na úrovni CNS a slouží k organizaci a integraci senzorických informací přicházejících z jednotlivých senzorických systémů ze všech částí těla. Na základě těchto informací pak CNS určuje polohu a pohyb těla v prostoru, a to vzhledem k působení gravitace a k charakteru zevního prostředí (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

Posturální kontroly se účastní následující senzorické systémy:

- zrak,
- somatosenzorické systémy (propriocepce a exterocepce),
- vestibulární systém.

Důvodem účasti více smyslů na udržování rovnováhy je nemožnost určení přesné pozice COM pouze na základě senzorické informace z jediného systému. Pro správnou interpretaci komplexního okolí vnímaného jedincem je nutná integrace všech tří senzorických systémů (Horak, 2006; Nashner, 1997). Dle různých vnějších podmínek se do popředí dostává vždy jeden ze smyslů, avšak pro přesné informace o poloze a pohybu COM je nutné zapojení všech tří senzorických systémů. Během senzorického konfliktu, kdy si informace přicházející z jednotlivých smyslů neodpovídají, musí mozek rychle zvolit senzorický vstup podávající v dané situaci správné údaje a ignorovat informace klamné pocházející ze zbývajících smyslů (či smyslu). Právě popsanému procesu výběru a kombinování vhodných senzorických informací se říká senzorická organizace (angl. *sensory organization*; Nashner, 1997). Každý ze tří senzorických systémů účastnících se posturální kontroly se za určitých okolních podmínek stává dominantním (nejadekvátnějším) zdrojem informací o poloze a pohybu COM, a naopak jiné okolní podmínky danému smyslu brání v podávání správných vstupů pro řízení rovnováhy – viz Tabulka 1.

Tabulka 1. Využití jednotlivých sensorických vstupů pro řízení posturální kontroly (upraveno dle Nashner, 1997, 265).

SENZORICKÝ SYSTÉM	VZTAŽNÁ SOUSTAVA	PREFEROVÁNÍ SMYSLU	PODMÍNKY RUŠÍCÍ POUŽITÍ SMYSLU
Zrak	Okolní objekty	Nepohyblivé (vizuální) okolí a nepravidelný či pohyblivý povrch	Pohyblivé (vizuální) okolí nebo tma
Somatosenzorické systémy	Povrch	Stabilní povrch	Nepravidelný či pohyblivý povrch
Vestibulární systém	Gravitace a setrvačné síly	Nepravidelný či pohyblivý povrch a pohyblivé (vizuální) okolí nebo tma	Neobvykle se pohybující okolí

Při každé změně okolního sensorického prostředí musí být v CNS přehodnocena relativní důležitost jednotlivých smyslů podílejících se na posturální kontrole. V případě zdravého jedince vyskytujícího se na pevném povrchu v dobře osvětleném prostředí se somatosenzorický systém uplatňuje ze 70 %, vestibulární aparát z 20 % a zrak z 10 %. Pokud se však jedinec nachází na nestabilním povrchu, zvyšuje se relativní důležitost informací z vestibulárního systému a zraku na úkor somatosenzorického systému. Schopnost přehodnocovat důležitost sensorických informací v závislosti na okolním prostředí je zásadním předpokladem pro udržování rovnováhy (Peterka, 2002). Jedinci s onemocněním poškozujícím některý ze sensorických systémů podílejících se na posturální kontrole mají omezenou schopnost přehodnocovat adekvátnost údajů pocházejících z jednotlivých smyslů, čímž se zvyšuje riziko ztráty rovnováhy a pádu. Kromě poruchy sensorických systémů zhoršují schopnost přehodnocování důležitosti jednotlivých smyslů také některá onemocnění CNS. Jedná se například o Alzheimerovu chorobu, která zpomaluje proces přehodnocování důležitosti sensorických informací (Horak, 2006).

Zrak zajišťuje údaje o pozici a pohybu hlavy vzhledem k okolním objektům (Nashner, 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Pro posturální kontrolu je velice důležitým zdrojem informací, což lze dokázat zhoršením úrovně rovnováhy při vyloučení zrakové kontroly (Latash, 2008). Role zraku pro řízení posturální kontroly se zvyšuje především při stožení na nestabilním povrchu (Nashner, 1997).



Somatosenzorické vstupy (propriocepce a exterocepce) poskytují informace o pozici a pohybu těla vzhledem k povrchu, na němž se jedinec nachází, a dále údaje o vzájemné poloze a pohybu jednotlivých segmentů těla (Nashner, 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Tyto informace pocházejí ze svalových vřetének, Golgiho šlachových tělísek, volných nervových zakončení v kloubních pouzdrech a kožních mechanoreceptorů (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Somatosenzorické vstupy jsou pro řízení posturální kontroly (obdobně jako zrak) zásadním zdrojem informací. Při experimentální aplikaci vibrace na posturální svaly či jejich šlachy dochází u testovaných jedinců k náhlým výkyvům až pádu. Pro tento fenomén existuje termín *vibration-induced fallings*. Vibrace aplikovaná na některý z posturálních svalů totiž vyvolává iluzi prodloužení svalu, čímž jsou aktivována svalová vřeténka. CNS pak na tyto informace reaguje vyrovnávacím pohybem ve snaze kompenzovat domnělou výchylku těžiště (Latash, 2008).

Vestibulární systém podává informace o pozici a pohybu hlavy ve vztahu k působení gravitace a k setrvačným silám. Skládá se ze dvou typů receptorů, kinetické a statické čidlo, přičemž každý je zaměřen na jiné aspekty polohy a pohybu (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Kinetické čidlo je tvořeno třemi na sebe kolnými polokruhovitými kanálky a slouží k zaznamenávání úhlového (rotačního) zrychlení. Statické čidlo tvoří dva váčky, a to utrikulus a sakulus. Váčky registrují pozici hlavy ve vztahu k působení gravitace a dále informují o lineárním zrychlení hlavy. Utrikulus odpovídá na horizontální zrychlení a sakulus na zrychlení vertikální (Franěk et al., 2008; Latash, 2008; Mareš, 2005). Váčky utrikulus a sakulus se uplatňují především během pomalých pohybů hlavy, které vznikají během drobných výkyvů při udržování rovnováhy. Polokruhovité kanálky naopak reagují zejména na rychlé pohyby hlavy, které se dějí během chůze či při ztrátě rovnováhy (Horak & Schupert, 1994, in Shumway-Cook & Woollancott, 2001; Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Ačkoliv dle Latashe (2008) hraje vestibulární systém při udržování rovnováhy nejzásadnější roli, autoři Horak a Schupert (1994, in Shumway-Cook & Woollancott, 2001) upozorňují, že izolované aferentní informace z vestibulárního aparátu bez přispění ostatních senzorických systémů nemohou podat CNS přesné údaje potřebné ke správnému řízení posturální kontroly. Dle Nashnera (1997) hraje vestibulární systém primární roli především při precizních pohybech hlavy a očí. Při ostatních situacích jsou však dominantními systémy zrak a propriocepce s exterocepcí. Je

tomu tak z důvodu větší citlivosti zraku a somatosenzorického systému pro detekci výchylek těla.

### 2.1.2.2 Motorické procesy

Motorické procesy lze chápat jako výkonnou složku posturální kontroly. Nashner (1997) rozlišuje tři úrovně prostředků, které má výkonná část posturální kontroly k dispozici pro vyrovnávání interních i externích perturbací. Jedná se o elasticitu tkání (především svalů a šlach) modulovanou z CNS, napínavé reflexy a předprogramované motorické strategie.

Motorické strategie jsou typické motorické vzorce, jež vznikají souhrou jednotlivých svalů a slouží k udržení stabilní pozice těla. Oproti prvním dvěma prostředkům (elasticita tkání a napínavé reflexy) sice reagují s větším zpožděním, jsou však účinnější a také flexibilnější (Nashner, 1997). Typickými předprogramovanými motorickými strategiemi jsou strategie kotníková, kyčelní a kroková. Všechny tři strategie jsou podrobněji rozebrány v další části této kapitoly.

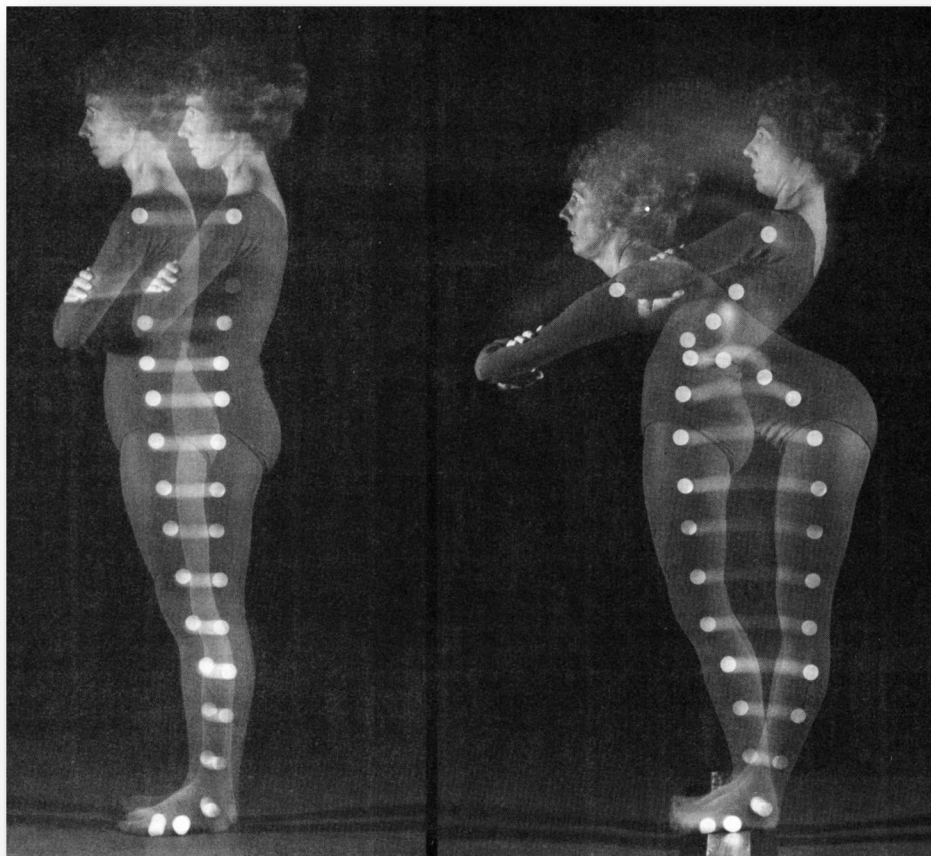
Základním předpokladem pro udržování rovnováhy je také vzájemné uspořádání jednotlivých tělních segmentů. Správné nastavení těla totiž minimalizuje účinky gravitační síly.

Důležitou roli hraje též svalový tonus, přičemž je vhodné rozlišovat mezi pasivní svalovou tuhostí, svalovým tonem, jenž existuje na pozadí veškeré svalové aktivity (a je za fyziologické situace přítomen neustále – i v klidu), a posturálním tonem. K nárůstu posturálního tonu dochází, jakmile se jedinec dostává do posturálně náročnějších situací (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Pro člověka je nejcharakterističtější posturálně náročnou situací vzpřímený stoj, a především pak vzpřímený stoj na jedné dolní končetině, který tvoří 80 % krokového cyklu a je základním motorickým projevem člověka (Janda et al., 2004; Sanchez-Valdes et al., 2015). Posturální tonus je však logicky přítomen pouze u některých svalů, a to právě u svalů zajišťujících stoj. Takové svaly jsou pak označovány jako posturální svaly (angl. *antigravity postural muscles*). Jejich úkolem je vyrovnávat působení gravitační síly (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Janda et al. (2004) mezi posturální svaly řadí hamstringy, m. gastrocnemius, m. soleus, m. rectus

femoris, m. iliopsoas, adduktory kyčelního kloubu, m. piriformis, m. quadratus lumborum, m. erector spinae, flexory prstů a ruky, m. pectoralis major, sestupnou část m. trapezius, m. sternocleidomastoideus a m. levator scapulae. Basmajian a De Luca (1985; in Shumway-Cook & Woollancott, 2001) popisují zvýšenou tonickou aktivitu během stoje u těchto svalů: m. soleus a m. gastrocnemius, m. tibialis anterior (za situace výchyly COM směrem dozadu), m. gluteus medius, m. tensor fasciae latae, m. iliopsoas a m. erector spinae v hrudní části páteře (společně s intermitentní aktivitou břišních svalů).

Dokud se jedinec nachází v relativně klidné pozici (zde myšleno v klidovém stoji), k udržování rovnováhy stačí zvýšená aktivita posturálních svalů, přičemž velikost energie vynaložená na udržení stabilního stoje závisí na kvalitě vzájemného uspořádání segmentů těla. Čím ideálnější je nastavení, tím je proces energeticky méně náročný (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

Pokud je však rovnováha narušena externí perturbací, čímž dojde k vychýlení COM, je nutná aktivace posturálních motorických strategií, a to s cílem koordinovaně navrátit COM zpět do rovnovážné polohy (Nashner, 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2001). V případě stoje se rozlišují celkem tři hlavní motorické strategie. Během prvních dvou strategií plosky nohou nemění svou polohu (není tedy nutný úkrok a nemění se opěrná báze). Jedná se o strategii kotníkovou a kyčelní. Třetí motorická strategie je kroková (Horak, 1987; Horak, 2006). Na Obrázku 6 je znázorněna kotníková a kyčelní motorická strategie.



Obrázek 6. Kotníková a kyčelní motorická strategie (Horak, 1987, 1882).

Při kotníkové strategii (angl. *ankle strategy*) se tělo nad hlezenními klouby pohybuje jako převrácené kyvadlo (Horak, 2006). Dochází k přesunu COM pomocí rotace zpevněného těla nad hlezenními klouby. Tohoto je dosaženo aktivací svalů kolem hlezenních kloubů (*m. triceps surae* a *m. tibialis anterior*), čímž v oblasti hlezenních kloubů vzniká moment síly, který má otáčivý účinek. Pohyb v kolenních a kyčelních kloubech je minimální (Horak, 1987; Nashner, 1997). Kotníková strategie se uplatňuje především při vyrovnávání drobných pomalých posturálních výchylek na pevném povrchu a s COG vyskytujícím se blíže ke středu LOS (Horak, 2006; Nashner, 1997).

Kyčelní strategie (angl. *hip strategy*) řídí pohyb COM pomocí flexe a extenze v kyčelních kloubech (Horak, 1987). Dochází tedy k pohybu trupu nad kyčelními klouby s menší opačnou rotací v kloubech hlezenních. Flexe v kyčelních kloubech spojená s pohybem COM směrem dozadu je zajištěna aktivitou *m. quadriceps femoris* a břišních

svalů. Paraspinální svaly a hamstringy naopak způsobují extenzi trupu v kyčlích spojenou s dopředným pohybem COM. Během pohybu trupu dopředu i dozadu zůstávají kolenní klouby relativně stabilní, a to díky antagonistické funkci výše zmíněných svalů zajišťujících flexi a extenzi kyčlí. Na rozdíl od kotníkové strategie je kyčelní strategie efektivní v případě, kdy se COG nachází blíže hranic LOS, a také za situace, kdy jsou hranice LOS zmenšeny zúženou opěrnou bází (Nashner, 1997). Kyčelní strategie je dále více využívána pro udržování rovnováhy za situace větších a rychlejších perturbací a při výskytu jedince na nestabilním povrchu nebo na podložce, jež je menší než plocha chodidel (Horak & Nashner, 1986). Situace s menší podložkou, než jsou chodidla, je znázorněna na Obrázku 6.

Kroková strategie (angl. *stepping strategy*) musí být zvolena v případě, kdy se COG dostává za hranici LOS. V této situaci lze zabránit pádu jedině krokem (Shumway-Cook & Woollancott, 2001), popřípadě využitím externí opory – opřením se či chytnutím se, s čímž ale kroková strategie nepracuje.

### 2.1.2.3 Vyšší neurální procesy

Vyšší neurální procesy zahrnují adaptivní (též kompenzační; angl. *adaptive mechanisms* či *corrective postural reactions*) a anticipační posturální strategie (angl. *anticipatory mechanisms*, také *feedforward*). Jedná se o dva základní mechanismy, jež CNS používá k udržování rovnováhy.

Aktivaci posturálního svalstva při udržování rovnováhy lze rozdělit na dvě fáze – na fázi přípravnou a fázi kompenzační. V rámci přípravné fáze (angl. *preparatory phase*) jsou příslušné posturální svaly aktivovány s více než 50 ms trvajícím předstihem před agonisty zajišťujícími konkrétní pohyb. Cílem zapojení posturálních svalů před svaly agonistickými je v předstihu zkompenzovat destabilizační účinek způsobený zamýšleným pohybem. Zde se jedná o anticipační posturální strategie (neboli *feedforward*). V kompenzační fázi (angl. *compensatory phase*) se posturální svaly zapojují znovu, a to tentokrát na základě zpětné vazby a s cílem pokračovat ve stabilizaci těla během prováděného pohybu. Zde se již jedná o adaptivní posturální strategie (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

Anticipační i adaptivní posturální strategie se týkají především aktivity svalů trupu a svalů dolních končetin (Santos, Kanekar, & Aruin, 2010). Shumway-Cook a Woollancott (2001) chápou oba mechanismy jako vyšší neurální procesy, jelikož jsou ovlivněny i kognitivními funkcemi. Důležitou vlastností posturálních strategií je jejich specifická v zapojování posturálních svalů vzhledem ke konkrétnímu hlavnímu pohybu. Jinak řečeno, anticipační i adaptivní posturální strategie jsou organizovány do odlišných svalových synergií v závislosti na zamýšleném pohybu (úhlu).

Právě zmíněné posturální strategie však nejsou nijak odděleny od (v předešlých kapitolách popsaných) sensorických strategií a motorických procesů, ale naopak de facto vznikají integrací jednotlivých sensorických systémů i motorických reakcí.

Adaptivní posturální strategie jsou mechanismy, které obnovují rovnováhu navrácením COM do správné polohy po účinku proběhlé perturbace. Tento typ strategií tedy nemůže být předpovídán dopředu (Santos et al., 2010) a je založen na přizpůsobení sensorického a motorického systému měnícím se požadavkům okolí (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Pokud jde o motorický systém, některé motorické reakce jsou univerzální, např. koaktivace agonistické a antagonistické svalové skupiny s cílem stabilizovat kloub bez ohledu na směr působící perturbace, a některé jsou specifické pro daný typ perturbace (Latash, 2008).

Cílem anticipačních posturálních strategií je minimalizovat negativní vliv očekávaných perturbací předtím, než k nim vůbec dojde (Santos et al., 2010). Tyto strategie připravují sensorický a motorický systém na zvýšené posturální nároky na základě předchozích zkušeností a učení (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

## **2.2 Hodnocení posturální kontroly**

Při hodnocení úrovně posturální kontroly lze volit mezi dvěma základními přístupy, přičemž každý má své výhody, nevýhody a specifika. Jedná se o klinické hodnocení a přístrojové měření.

### 2.2.1 Klinické hodnocení

Klinické hodnocení zahrnuje celou škálu možností od prostého aspekčního vyšetření stoje přes jednoduché skórované testy zaměřené pouze na jeden úkol až po komplexní klinické testové metody zahrnující úlohy různého charakteru.

Příkladem velice rychlého orientačního vyšetření posturální kontroly, jež je založeno na aspekčním hodnocení stoje, je Rombergova zkouška (angl. *Romberg's Test*). U této zkoušky je využíváno postupného zvyšování náročnosti na udržení rovnováhy, a to pomocí zužování opěrné báze a vyloučení zrakové kontroly. Rombergovu zkoušku popisuje například Opavský (2003). Zástupci testů zaměřených na jeden úkol jsou Functional Reach Test autorů Duncana et al. (1990) nebo Timed Up and Go Test popisovaný Hermanem et al. (2011). Ke komplexním testovým systémům lze zařadit kupříkladu Bergovu funkční škálu rovnováhy (angl. *Berg Balance Scale*) testující 14 motorických úkolů (Romero et al., 2011), Dynamic Gait Index skládající se z osmi úloh cílených na zhodnocení chůze v různých situacích (Jønsson et al., 2011; Romero et al., 2011) nebo Performance Oriented Mobility Assessment zaměřený na testování rovnováhy za různých podmínek včetně chůze (Faber et al., 2006).

Většina z výše zmíněných testů a testových systémů je zaměřená na hodnocení úrovně rovnovážných schopností během situací souvisejících s každodenními aktivitami. Jejich cílem je tedy zhodnocení kvality posturální kontroly v různých situacích, zjištění velikosti rizika pádů a často také identifikace konkrétních rizikových aktivit pro daného jedince. Tyto testy a testové systémy však nejsou určeny k hledání příčin poruch rovnováhy.

Horak (2006) upozorňuje, že posturální kontrola je komplexní děj založený na interakci jednotlivých senzomotorických strategií, což znamená, že na udržování rovnováhy se podílí množství různých systémů. V případě porušené rovnováhy je nutné zjistit, který ze systémů je příčinou této poruchy. Komplexnost řízení posturální kontroly lze pozorovat také na skutečnosti, že schopnost udržovat rovnováhu je silně závislá na konkrétním kontextu – tedy na podmínkách okolního prostředí a na fungování posturální kontroly konkrétního jedince. Jak již bylo řečeno, na udržování rovnováhy se podílí více systémů, avšak v jednotlivých situacích není vždy nutná jejich plná účast. Proto různí jedinci s poruchami rovnovážných schopností různé etiologie mají potíže v odlišných

situacích, a to podle toho, který ze systémů posturální kontroly mají poškozený a v jakých podmínkách okolního prostředí se nacházejí. Jednotlivé systémy podílející se na fungování posturální kontroly jsou shrnuty na Obrázku 4. Z výše popsaného vyplývá, že pro navržení optimální intervence u pacientů s poruchami rovnováhy je nutné vyšetřit funkčnost jednotlivých systémů podílejících se na posturální kontrole a také zhodnotit jednotlivé kompenzační strategie vyšetřovaného jedince, jež nahrazují poškozený systém (Horak, 2006). Příkladem jednoduchého testu hodnotícího úroveň posturální kontroly za různých sensorických podmínek je Test rovnovážných schopností hodnocených za změněných sensorických podmínek (angl. *Test for Equilibrium Under Altered Sensory Conditions*; Horak, 1987).

Výhodou klinického hodnocení je především relativní nenáročnost testů na vybavení a prostory a též finanční nenákladnost. Dalším benefitem je relativně dobrá simulace běžných každodenních podmínek – součástí většiny testů jsou úlohy hodnotící běžné každodenní aktivity, jako je vstávání ze židle, otočka o 360°, chůze do schodů apod. Mancini a Horak (2010) zmiňují, že mnoho klinických testů je zaměřeno na detekci rizika pádů a potřeby zařazení rehabilitační intervence. Oproti přístrojovému hodnocení rovnováhy však klinické testování není tak objektivní, reliabilní, senzitivní a specifické.

## 2.2.2 Přístrojové měření

Druhou možností hodnocení posturální stability je přístrojové měření, jemuž se také říká posturografie (angl. *posturography*). Posturografie je definovaná jako kvantitativní metoda pro hodnocení posturální kontroly, jež je typicky prováděna pomocí přístrojového zobrazení a přístrojové analýzy pozice a pohybu jak celého těla, tak jednotlivých tělových segmentů. Dle charakteru zkoumané situace lze posturografii rozdělit na statickou a dynamickou, přičemž statická posturografie bývá nazývána též stabilometrie (angl. *stabilometry*; Binder, Hirokawa, & Windhorst, 2009; Kwasnica, 2011).

Během statické posturografie je rovnováha hodnocena za „klidových“ podmínek, kdy jedinec stojí na silové plošině v relativně ničím nerušeném stoji – v tzv. klidovém stoji na pevném podkladu (angl. *quiet stance*). Během takového typu měření senzory



zaznamenávají pouze malé změny pozice těla, popř. tělních segmentů (Kwansina, 2011; Visser, Carpenter, van der Kooij, & Bloem, 2008).

Hodnocení rovnováhy za použití dynamické posturografie zahrnuje experimentálně vyvolané perturbace různého charakteru (Visser et al., 2008):

- externí perturbace vyvolané experimentátorem (např. očekávaný, či neočekávaný pohyb podložky, na níž stojí jedinec),
- interní perturbace záměrně vyvolané testovaným jedincem (např. testování LOS).

Jiným typem perturbací, ač přímo nespádajícím pod dynamickou posturografii, jsou různé typy úkolů prováděné během měření rovnováhy na silové plošině (Balasubramaniam & Wing, 2002). Kombinací takového úkolu a posturálně náročné pozice vzniká situace nazývaná duální úloha (angl. *dual task*). Už samotný pojem duální úloha naznačuje, že se jedná o dvě simultánně prováděné činnosti, z nichž většinou obě jsou měřeny (tj. různým způsobem hodnoceny). V kontextu hodnocení posturální kontroly se logicky jedná o nějakou posturálně více či méně náročnou situaci v kombinaci s dalším úkolem. Tento úkol může mít podobu motorické nebo kognitivní úlohy.

Paradigma kognitivních duálních úkolů vychází z předpokladu, že na udržování rovnováhy se významnou měrou podílí také pozornost (jako jeden z kognitivních procesů), jejíž kapacita je však omezená a při současném vykonávání dalších činností náročných na pozornost musí být mezi tyto činnosti distribuována. Požadavky na kapacitu pozornosti jsou interindividuálně odlišné a velkou roli zde hrají věkový faktor a úroveň rovnovážných schopností (Balasubramaniam & Wing, 2002; Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Dalším důležitým přístupem ke klasifikaci metod posturografie je její rozdělení dle možností pořizování záznamu a charakteru výstupů měření, a to na tři rozdílné metody pro analýzu rovnováhy (Ruhe et al., 2010; Visser, 2008):

- kinetické metody,
- kinematické metody,
- měření svalové aktivity.

Tabulka 2 shrnuje jednotlivé metody pro hodnocení rovnováhy, a to včetně zařízení nutných k pořizování záznamu a výstupů měření.

Tabulka 2. Metody pro hodnocení rovnováhy – upraveno dle tabulky na str. 2426 ve studii Visser et al. (2008) a doplněno dle Perry a Burnfield (2010).

METODA HODNOCENÍ	POŘIZOVÁNÍ ZÁZNAMU	VÝSTUPY MĚŘENÍ
Kinetické metody	SILOVÉ PLOŠINY - tenzometrické, - piezoelektrické.	COP, reakční síly (vertikální složka, AP smyková složka, ML smyková složka), momenty sil, vektory reakčních sil, výkon
	PEDOBAROGRAFY (tlakové podložky)	COP, rozložení tlaku na plošce
Kinematické metody	POHYBOVÉ SENZORY (kombinace akcelerometrů, gyroskopů a magnetometrů)	COM, pohyb tělních segmentů
	OPTICKÝ MOCAP - bezmarkerový, - pasivní markery, - aktivní markery.	3D reprezentace těla a tělních segmentů
Elektromyografie	ELEKTRODY - povrchové, - invazivní.	svalová aktivita, svalové synergie

Legenda: 3D – třídimenzionální; AP – anteroposteriorní; COP – center of pressure; COM – center of mass; ML – mediolaterální; MoCap – motion capture (snímání pohybu).

### 2.2.2.1 Kinetické metody

První z možností přístrojového hodnocení posturální kontroly jsou kinetické metody zabývající se analýzou interních i externích sil vyvolávajících pohyb (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Kinetické metody jsou nejhojněji využívaným přístupem pro hodnocení rovnováhy, kdy jsou s využitím silových plošin určeny parametry pohybu COP. Základními komponentami silových plošin je deska a tři nebo čtyři silové snímače. Ty mohou být buď tenzometrické – v případě tenzometrických silových plošin, či piezoelektrické – v případě piezoelektrických silových plošin (Duarte & Freitas, 2010).

Piezelektrickým silovým plošinám se také říká šesti složkové silové plošiny, protože měří šest fyzikálních veličin. Jedná se o tři složky síly (*ground reaction force*, GRF) ( $F_x$  v AP směru,  $F_y$  v ML směru,  $F_z$  ve vertikálním směru) a o tři složky momentů sil ( $M_x$ ,  $M_y$  a  $M_z$ ). Z těchto údajů se vypočítává pozice COP v souřadnicové soustavě (v AP a ML směru):

- pozice COP v AP směru =  $(-h \times F_x - M_y) / F_z$ ,
- pozice COP v ML směru =  $(-h \times F_y + M_x) / F_z$ .

Písmeno  $h$  je výška opěrné báze nad silovou plošinou a řeší se v případě, kdy je na silové plošině ještě něco umístěno – například koberec či pěnová podložka (Duarte & Freitas, 2010).

Tenzometrické silové plošiny jsou schopné snímat tři fyzikální veličiny, a proto bývají též nazývány třísložkové silové plošiny. Tyto plošiny snímají pouze vertikální složku GRF a dále pak souřadnice COP na ose  $x$  a na ose  $y$ , kdy osa  $x$  odpovídá snímání pohybu COP v ML směru a osa  $y$  pohybu COP v AP směru (Duarte & Freitas, 2010).

Naměřené hodnoty COP lze kromě numerického vyjádření též vizualizovat, a to pomocí stabilogramu a statokineziogramu. Stabilogram znázorňuje časový průběh výchylek COP zvláště v AP a zvláště v ML směru. Statokineziogram lze charakterizovat jako mapu průběhu COP, kdy na ose  $x$  je ML směr, na ose  $y$  AP směr (Duarte & Freitas, 2010).

## **Parametry získané z COP**

Pro hodnocení úrovně rovnovážných schopností bývá užíváno velké množství parametrů získaných měřením polohy COP. Základní klasifikace parametrů COP je jejich rozdělení dle parametrizačních technik použitých pro získání COP dat z posturografických plošin. Jedná se o globální a strukturální analýzu. Globální analýza číselně vyjadřuje celkovou velikost posturálních výchylek z časoprostorového nebo z frekvenčního hlediska. Strukturální analýza se pokouší o rozklad vzorů posturálních výchylek na jednotlivé elementy a následně zkoumá jejich vzájemné interakce (Baratto et al., 2006).

Ve výzkumech zaměřených na hodnocení kvality posturální kontroly bývá častěji využíváno parametrů vycházejících z globální analýzy. Z toho důvodu bude i následující text věnován tomuto druhu parametrů.

Některé parametry spadající do globální analýzy jsou počítány samostatně pro AP a pro ML směr, pro výpočet jiných je použit signál z obou směrů dohromady.

Globální parametry bývají typicky děleny na parametry pracující s rychlostí a polohou COP (angl. *time-distance parameters*) a na frekvenční parametry (angl. *frequency parameters*). Příkladem parametrů pracujících s rychlostí a polohou COP jsou délka trajektorie COP, směrodatná odchylka výskytu COP vzhledem k jeho průměrné pozici, plocha konfidenční elipsy, průměrná rychlost COP aj. Do frekvenčních parametrů patří například *frequency power ratios between low-medium and medium-high frequency bands*, *mean power frequency* nebo *spectral power ratio* (Baratto et al., 2006; Duarte & Freitas, 2010; Nagymáté et al., 2018).

#### **2.2.2.2 Kinematické metody**

Kinematické metody se zabývají pohybem objektu v rovině (2D) a v prostoru (3D). Konkrétně popisují lineární a úhlové změny polohy v prostoru, rychlost a zrychlení (Shumway-Cook & Woollancott, 2001). Pomocí informací získaných z kinematické analýzy je zjišťována poloha a pohyb COM, což mimo jiné nabízí možnost porozumět posturálním strategiím zkoumaného jedince. Sledováním výchylek COM lze objektivně zhodnotit stupeň posturální nestability, a to v různých podmínkách, včetně situací zkoumajících reakce na různé perturbace. Kromě sledování COM lze také hodnotit polohu a pohyb jednotlivých tělních segmentů. Sledování chování tělních segmentů pomáhá objasnit (klinickými metodami často nezjistitelnou) patologii posturální nestability u různých onemocnění (Visser et al., 2008).

Pohyb COM i jednotlivých tělních segmentů je v rámci kinematické analýzy zjišťován buď pomocí vizuálního snímání pohybu nazývaného jako optický snímací systém (angl. *visual motion capture*, MoCap) nebo s využitím informací z pohybových senzorů.

Optické snímací systémy se dělí na dvě základní kategorie dle toho, zdali jsou či nejsou využívány reflexní značky:

- optické systémy používající značky (markerový MoCap),
- optické systémy bez značek (bezmarkerový MoCap).

V případě optických systémů používajících značky jsou tyto reflexní značky připevněny na různé části těla. Značky jsou nutné pro detekci daných částí těla kamerovým systémem. Optické systémy bez značek nevyžadují použití reflexních značek, protože části těla (resp. určité body na těle) jsou rozpoznány i bez jejich zvýraznění.

Pohybovými senzory mohou být magnetické, mechanické, nebo inerční snímací systémy. V případě třetí zmíněné techniky – inerčních snímacích systémů – je využíváno tzv. inerčních měřících jednotek. Inerční měřící jednotka většinou znamená kombinaci akcelerometrů, gyroskopů a magnetometrů. Tyto jednotky se obdobně jako reflexní značky připevňují na přesně definovaná místa na těle.

Pohyb jednotlivých reflexních značek či inerčních měřících systémů je pak popisován vzhledem k nějakému vztažnému bodu – nejčastěji vzhledem k počátku souřadnicového systému (Shumway-Cook & Woollancott, 2001; Visser et al., 2008).

### **2.2.2.3 Hodnocení svalové aktivity**

Elektromyografie (EMG) je metoda, pomocí níž lze snímat svalovou aktivitu za použití povrchových nebo jehlových elektrod. V rámci posturografie může být EMG použita pro tyto účely (Shumway-Cook & Woollancott, 2001):

- identifikace svalů zapojujících se během pohybu,
- určení timingu svalů a relativní intenzity svalové kontrakce (ve vztahu k ostatním svalům),
- posouzení svalové synergie.

### 2.2.3 Standardizace a reliabilita posturografie

Standardizace je metodologický postup, jenž přispívá k zajištění objektivitu a komparability empirického zkoumání, dále příznivě ovlivňuje validitu a reliabilitu a též eliminuje některé zdroje chyb měření, a to hlavně subjektivnost záznamu. Standardizace probíhá unifikací podoby výzkumného nástroje a také unifikací výzkumné situace (Martinová, 2018).

Reliabilita neboli přesnost měření vyjadřuje stupeň konzistence výsledků měření jednoho jedince realizovaného za přesně určených podmínek a v situaci, kdy hodnota měřené chtěné proměnné se nezměnila. Reliabilita souvisí s náhodnou složkou chyby a v přírodovědných oborech se obvykle určuje opakovacími experimenty (např. interferenčními nebo recovery experimenty). V humanitních vědách (psychologie a sociologie) je reliabilita zkoumána pomocí postupů, mezi něž patří opakované měření (test-retest reliabilita), měření paralelních testů (alternate-form) a půlení testu (split-half reliabilita; Fink & Litwin, 1995; Hendl, 2012).

Vzhledem k tématu práce je následující text je věnován pouze úzkému tématu, a to standardizaci a reliabilitě měření na silových plošinách. V textu jsou rozebírány jednotlivé požadavky na praktickou část výzkumu, které podmiňují úroveň jak standardizace, tak reliability.

#### 2.2.3.1 Technické požadavky

##### **Přesnost měření silové plošiny**

Autoři Scoppa et al. (2013) ve své práci zabývající se standardizací stabilometrie doporučují, aby byla přesnost měření (angl. *accuracy*) silové plošiny týkající se pozice COP v souřadnicovém systému byla lepší než 0,1 mm (tedy aby chyba měření byla menší než 0,1 mm). Tento požadavek se však zdá v praxi jako poměrně nereálný. Jiní autoři, kteří zkoumali přesnost různých silových plošin, došli k hodnotám chyby měření, jež byly cca o řád vyšší než doporučená hodnota 0,1 mm. Hodnoty chyby měření lokalizace COP se napříč třemi různými výzkumy pohybovaly kolem 1 až 2 mm, a to v závislosti především

na zkoumaném směru (AP versus ML směr) a na vzdálenosti měřeného bodu od středu plošiny (Bobbert & Schamhardt, 1990; Dias et al., 2011; Middleton et al., 1999).

### **Frekvence snímání COP signálu**

Autoři Scoppa et al. (2013) doporučují COP signál snímat s použitím frekvence (angl. *sampling rate*) 100 Hz, přičemž v případě některých „klasických“ parametrů COP (např. trajektorie COP či konfidenční elipsa) je dostačující frekvence 50 Hz.

Autoři Duarte a Freitas (2010), věnující se také standardizaci posturografie, konstatují, že ačkoliv pro snímání signálu COP v klidovém stoji u zdravých jedinců by teoreticky stačilo pouze 20 Hz, ve výzkumech se typicky používá frekvence 100 Hz.

Ruhe et al. (2010) doporučují (na základě rešerše literatury) pro snímání COP signálu také frekvenci 100 Hz.

#### **2.2.3.2 Požadavky na vyšetřovaného jedince**

Kromě technických požadavků vztahujících se na vyšetřovací nástroj (tedy na silovou plošinu) a požadavků na techniku vyšetření existují v rámci standardizace posturografie také doporučení týkající se vyšetřované osoby. Tyto antropometrické požadavky zahrnují hmotnost a výšku participanta a velikost jeho chodidla. Scoppa et al. (2013) doporučují při výběru participantů dodržovat následující antropometrické požadavky, a to z důvodu jejich vlivu na výsledky měření:

- hmotnost vyšetřovaného jedince by měla být v rozmezí 20 až 200 kg,
- výška vyšetřovaného jedince by se měla pohybovat mezi 80 a 250 cm,
- velikost chodidla vyšetřovaného jedince by neměla přesáhnout 35 cm.

Autoři Kapteyn et al. (1983) upozorňují, že individuální antropometrické charakteristiky (konkrétně tělesná výška a hmotnost) ovlivňují posturografická data (konkrétně parametry získané ze snímání pohybu COP). Nebyla však nalezena žádná korelace mezi hmotností či výškou a naměřenými daty, a neexistuje tak ani žádná

matematická metoda, pomocí níž by bylo možné vztah definovat, a zohlednit tak naměřená data. Autoři proto doporučují v posturografických výzkumech uvádět tělesnou výšku i hmotnost všech měřených participantů.

### **2.2.3.3 Způsob měření**

Standardizace týkající se techniky měření na posturografické plošině zahrnuje doporučení vztahujících se k následujícím tématům:

- délka měřeného úseku,
- počet opakování měřených úseků,
- pozice chodidel dolních končetin na silové plošině,
- požadavky na prostředí.

#### **Délka měřeného úseku**

Scoppa et al. (2013) na základě rešerše literatury považují nejvhodnější délku měřeného úseku 25–40 s, jelikož parametry COP získané z takto dlouhého měření jsou dostatečně reliabilní. Za zlatou střední cestu lze dle týchž autorů brát délku měření 30 s (s předcházejícím cca pětisekundovým neměřeným intervalem na adaptaci).

Duarte a Freitas (2010) na základě rešerše literatury zmiňují jako vhodnou délku měřeného úseku dokonce 60–120 s, avšak zároveň doplňují, že dle některých studií je dostačujících už 30 s. Dále doplňují, že pro klidový stoj by délka měření rozhodně neměla být kratší než 60 s. Na druhé straně upozorňují na riziko příliš dlouhého trvání záznamu, jež může vést k únavě zkoumaného jedince.

K problematice délky měřeného úseku se vyjadřují také autoři přehledové studie zabývající se reliabilitou Ruhe et al. (2010). Autoři na základě test-retest výsledků (získaných rešerší literatury) upozorňují, že zásadním faktorem pro získání reliabilních dat jsou volba délky měřeného úseku a volba počtu opakování měřených úseků. Z tohoto důvodu existuje několik výzkumů, které se danou problematikou zabývaly. Autoři starších studií doporučují pro získání reliabilních výsledků vhodnou délku měřeného



úseku 10–60 s (Le Clair & Riach, 1996; Letz & Gerr, 1995; Schmid et al., 2002). Autoři dalších, převážně novějších výzkumů (Carpenter et al., 2001; Doyle et al., 2007; Lafond et al., 2004), však toto zjištění zpochybňují a přiklánějí se k délkám měření v rozmezí 90–120 s. Důvodem tohoto doporučení je, že pro dosažení korelačního koeficientu (pro většinu COP parametrů)  $>0,75$  je zapotřebí právě délka měření mezi 90–120 s. Ruhe et al. (2010) uzavírají, že délka měření 90 s už zajistí dobrou reliabilitu, a to pro všechny „tradiční“ parametry vycházející z pohybu COP.

### **Počet opakování**

Jak již bylo uvedeno výše, počet opakování měřených úseků je společně s délkou měřeného úseku zásadním faktorem ovlivňujícím reliabilitu výsledků týkajících se hodnocení posturální kontroly (Ruhe et al., 2010). Při rozhodování o počtu opakování je nutné mít na paměti možný vliv učení, vedoucí k výraznému snížení posturálních výchylek, a v extrémních případech pak riziko vzniku únavy, jež naopak posturální výchylky potencuje (Duarte & Freitas, 2010).

Duarte a Freitas (2010) na základně rešerše literatury uvádějí jako ideální dvě až čtyři opakování. Ruhe et al. (2010) mluví (na základě již existujících výzkumů) o trendu, kdy zvyšování počtu opakování vede k reliabilnějším datům, a jako vhodný počet doporučují tři až pět opakování. Autoři dále doporučují výsledky získané z tří až pěti opakování zprůměrovat.

### **Pozice chodidel**

Pozice chodidel má značný vliv na rovnováhu stojícího člověka (Kirby et al., 1987), a tak se stává dalším významným faktorem, jenž výrazně ovlivňuje výsledky měření. Obecně lze konstatovat, že čím širší opěrnou bázi jedinec zaujímá (tedy čím větší je vzdálenost chodidel od sebe), tím lepší je pasivní stabilita neuromuskulárního systému, a tím nižší jsou nároky na neurální aktivní kontrolu postury (Ruhe et al., 2010). Například dle výzkumu Kirbyho et al. (1987) dochází při stoji s chodidly u sebe k větším posturálním výchylkám (k většímu pohybu COP) v ML směru ve srovnání s pozicí chodidel ve

vzdálenosti 15 cm, 30 cm nebo 45 cm od sebe. Vzdálenost chodidel od sebe nicméně neměla signifikantní vliv na velikost posturálních výchylek v AP směru. Stejní autoři se zabývali také vlivem rotace dolních končetin (DKK) na velikost posturálních výchylek (na velikost pohybu COP). Bylo zkoumáno pět různých úhlů v rozpětí od 45° mezi chodidly v zevní rotaci (tedy zevní rotace 22,5° u každé DK) až do 45° mezi chodidly ve vnitřní rotaci (tedy vnitřní rotace 22,5° u každé DK). Nejmenší posturální výchylky v obou směrech (ve směru ML i AP) byly nalezeny u pozice chodidel v zevní rotaci 25° (tedy zevní rotace 12,5° u každé DK). Největší posturální výchylky v obou směrech (ve směru ML i AP) pak byly naměřeny u pozice chodidel ve vnitřní rotaci 45° (tedy vnitřní rotace 22,5° u každé DK).

Mouzat et al. (2004) došli na základě rešerše literatury k podobným zjištěním. Zvětšování opěrné báze vede ke zlepšení rovnováhy (tedy ke snížení posturálních výchylek), a to především v ML směru. Zvětšování vzdálenosti chodidel od sebe je pro stabilizační efekt důležitější než měnící se úhel mezi chodidly.

Pokud jde však o konkrétní doporučení volby pozice chodidel, nebylo zatím mezi odborníky dosaženo shody, ačkoliv byla tato problematika již diskutována množstvím kvalifikovaných autorů (Scoppa et al., 2013). Dle Ruheho et al. (2010) ani k takovému konkrétnímu doporučení nemůže dojít, jelikož volba šířky stoje (tedy volba pozice chodidel) závisí na druhu testování a schopnostech a stavu testovaných osob. Taktéž výsledky prací zabývajících se reliabilitou stoje (resp. umístěním chodidel) při vyšetření posturální kontroly nabízejí téměř protichůdná zjištění, z nichž nelze vyvodit žádný závěr (Ruhe et al., 2010).

Scoppa et al. (2017) se ve svém výzkumu zabývali porovnáním tří často používaných pozic chodidel během klidového stoje. Konkrétně se jednalo o tyto pozice chodidel:

- chodidla u sebe,
- zevní rotace DKK 15° + 15° s patami 5 cm od sebe,
- chodidla paralelně ve vzdálenosti 15 cm od sebe.

Dle závěrů studie je pozicí první volby (pro klidový stoj) pozice s chodidly u sebe. Naopak pozice s chodidly ve vzdálenosti 15 cm od sebe měla nejnižší senzitivitu pro hodnocení rovnováhy. Nicméně tato pozice stejně jako pozice s chodidly v rotaci je

vhodná pro testování pacientů s poruchou rovnováhy, přičemž pozice s chodidly v rotaci vyšla pro pacienty jako nejpohodlnější (Scoppa et al., 2017).

Poměrně jasné představy o správné pozici chodidel při testování posturální kontroly mají autoři Kapteyn et al. (1983), kteří doporučují pozici s patami u sebe a s úhlem 30° mezi mediálními hranami chodidel DKK zevní rotaci (tedy každá DK v zevní rotaci 15°). Autoři dále doporučují, aby testování probíhalo bez obuvi.

#### **2.2.3.4 Reliabilita parametrů COP**

V současnosti existuje pouze jedna přehledová studie zabývající se reliabilitou parametrů COP. Jedná se o metaanalýzu autorů Ruheho et al. z roku 2010.

Druhou důležitou studií je výzkum autorů Nagymátého et al. z roku 2018. Nejedná se sice o studii přehledovou, autoři však v první části svého článku uvádějí velké množství prací zabývajících se reliabilitou parametrů vycházejících z COP. Navíc i jejich výzkumná část přináší velice přínosné poznatky.

Obě výše zmiňované práce jsou zaměřeny téměř výhradně na hodnocení reliability parametrů COP u zdravé mladé populace. Do přehledové studie (Ruhe et al., 2010) byl zařazen pouze jeden výzkum realizovaný na seniorech (bez diagnóz souvisejících s poruchami rovnováhy). Ve výzkumu autorů Nagymátého et al. (2018) byli pouze mladí zdraví jedinci. Je tedy vhodné se zde zaměřit i na studie zabývající se reliabilitou parametrů COP u populace seniorské. Příkladem takových studií je výzkum autorů Lia et al. (2016), Moghadama et al. (2011) a Bauera et al. (2008).

#### **Přehledová studie shromažďující informace o reliabilitě parametrů COP z roku 2010**

Cílem autorů starší přehledové studie Ruheho et al. (2010) bylo mimo jiné stanovit reliabilitu ve výzkumu běžně používaných parametrů COP, a to při měření v bipedálním stoji za statických podmínek (tedy při statické posturografii). Autoři využili šest online databází se záměrem najít výzkumy s lidskými účastníky publikované mezi lety 1980 a

2009. Výsledkem hledání bylo nejdříve 215 studií. Postupným vyřazování (na základě inkluзивních a exkluzivních kritérií) zbylo 32 výstupů, jež byly následně použity pro metaanalýzu. Většina analyzovaných studií byla realizována na mladých zdravých jedincích. Účastníci deseti výzkumů pak trpěli nějakou diagnózou související s poruchou posturální kontroly (např. Parkinsonova choroba, zranění na DKK, bolesti dolní části zad atd.) nebo měli blíže nespecifikovanou poruchu rovnováhy. Jedna studie byla prováděna na seniorech.

Většina analyzovaných studií (26 z 32, tedy přibližně 81 %) reportovala uspokojivou míru reliability. Parametr průměrná rychlost COP (angl. *COP mean velocity*) byl jediným parametrem s všeobecně dobrou mírou reliability napříč všemi zahrnutými výzkumy, ač se mezi studiemi jeho hodnoty poměrně lišily – rozmezí hodnot koeficientu vnitřní korelace (ICC) bylo 0,32–0,94. Parametr průměrná rychlost COP byl navíc ve výzkumech nejčastěji voleným parametrem. Žádný z parametrů COP nicméně nedosahoval signifikantně vyšší míry reliability ve srovnání se zbývajícími parametry. Po shrnutí výsledků jednotlivých výzkumů vyplývá, že nejhorší reliability z „tradičních“ parametrů COP (zde myšleny time-distance parameters) mají parametry pracující s extrémními hodnotami (minimálními, maximálními, či peak-to-peak hodnotami). Je tomu tak proto, že tyto extrémní parametry využívají pouze minimum dat z celého měřeného úseku. Autoři proto doporučují používat zejména ty parametry COP, které jsou vypočítány jako průměrné hodnoty (např. průměrná rychlost COP).

### **Výzkum reliability parametrů COP z roku 2018**

Záměrem autorů recentní studie Nagymátého et al. (2018) bylo zhodnotit test-retest reliability vybraných parametrů vycházejících z COP. Autoři se zaměřili na jedenáct parametrů odvozených z COP. Výzkum byl prováděn na 30 mladých zdravých jedincích. Všichni participanti podstoupili měření na silové plošině, a to ve třech různých typech stoje (klidový stoj se zřakovou kontrolou, klidový stoj s vyloučením zřakové kontroly a stoj na jedné dolní končetině se zřakovou kontrolou). Rovnováha u všech tří pozic byla hodnocena jednak během 30sekundového, a jednak během 60sekundového intervalu. Reliabilita byla hodnocena pomocí více přístupů, nicméně za zásadní lze považovat ICC,

protože se jako hodnoticí kritérium objevuje i v mnoha dalších studiích zabývajících se hodnocením reliability posturografických parametrů.

Nejvyšších hodnot ICC dosáhl parametr délka trajektorie COP (path length), a to napříč všemi typy testových situací. Tento parametr konzistentně dosahoval  $ICC > 0,7$  (kromě jedné situace, kdy hodnota byla 0,67). Taktéž v dřívějších, v tomto výzkumu citovaných studiích, dosahoval parametr délka trajektorie COP (anebo parametr průměrná rychlost COP) vysoké míry korelace. Dalším posturografickým parametrem (jenž ale není odvozen z COP) vykazujícím obstojnou reliabilitu ( $ICC = 0,49-0,54$ ) byl parametr rozdíl v rozložení zatížení dolních končetin (angl. *load distribution difference*, LDD). Obdobně tomu bylo i u parametru CE area (oblast konfidenční elipsy), který taktéž vykazoval uspokojivou míru reliability ve většině testových situací. Zbývající parametry COP už se z hlediska reliability nechovaly tak konzistentně. Parametr největší výchylka COP (angl. *largest amplitude during balancing*) sice nabýval uspokojivé reliability během 60sekundových měření, avšak reliabilita u 30sekundových měření byla nízká. Zbývající parametry už nedosahovaly uspokojivé míry reliability. Obecně lze shrnout, že všechny frequence parameters (frekvenční parametry) a taktéž veškeré time-distance parameters pracující s extrémními hodnotami (např. maximální výchylky v AP směru nebo maximální rychlost COP) dosahovaly nízkého stupně reliability. Zjištění týkající se nízké reliability parametrů s extrémními hodnotami se shoduje s výsledky přehledové studie Ruheho et al. (2010).

### **Tři výzkumy zabývající se reliabilitou parametrů COP u seniorské populace**

V rámci všech tří zde uvedených studií bylo hodnoceno celkem 19 parametrů COP. Jednalo se například o délku trajektorie COP (celkovou, v AP směru, v ML směru), průměrnou rychlost COP (celkovou, v AP směru v ML směru), směrodatnou odchylku rychlosti v ML i AP směru, plochu výskytu COP aj. Reliabilita parametrů COP byla vždy zjišťována u „zdravých“ seniorů – tedy u seniorů bez diagnóz majících vliv na úroveň rovnováhy. Všechny tři výzkumy zjistily poměrně vysokou míru reliability všech hodnocených parametrů (Bauer et al., 2008; Li et al., 2016; Moghadam et al., 2011).

Nejnovější a zároveň nejrozsáhlejší studie autorů Lia et al. (2016) byla zaměřena na hodnocení reliability pomocí ICC, a to u dvanácti parametrů COP. Výzkum byl prováděn na 240 zdravých seniorech s průměrným věkem 70 let. Všichni participanti podstoupili měření na posturografické plošině, a to ve třech různých výzkumných situacích (klidový stoj se zrakovou kontrolou, klidový stoj s vyloučením zrakové kontroly a sed). Rovnováha u všech tří pozic byla hodnocena během 30sekundového intervalu.

Autoři zjistili uspokojivou míru reliability (ICC = 0,75–0,99) u všech 12 parametrů COP získaných za všech výzkumných situací. Pokud jde pouze o klidový stoj (se zrakovou kontrolou i bez ní), tak se hodnoty ICC pohybovaly mezi 0,75–0,98, což značí vysokou až střední míru reliability. Parametr průměrná rychlost COP a parametr délka trajektorie COP (v ML směru) dosáhly nejvyšší reliability, a to ve všech třech testovacích situacích.

Druhá studie (Moghadam et al., 2011) hodnotila reliabilitu osmi parametrů COP u zdravých seniorů, a to jednak za „standardní“ situace, kdy jedinec během měření pouze stojí na silové plošině (angl. *single task*), a jednak za situace, kdy je proband během stoje na silové plošině pod vlivem kognitivní zátěže (= kognitivní duální úloha; angl. *cognitive dual task*). Výzkumu se zúčastnilo 16 zdravých seniorů s průměrným věkem 70 let. Všichni participanti podstoupili měření na silové plošině v klidovém stoju o třech úrovních obtížnosti (klidový stoj na pevném povrchu se zrakovou kontrolou, klidový stoj na pevném povrchu s vyloučením zrakové kontroly a stoj na pěnové balanční podložce se zrakovou kontrolou). Všechny tři testovací situace proběhly jednak během *single task*, a jednak během *dual task*. Jako kognitivní úkol bylo voleno zpětné odečítání číslíc.

Dle výsledků studie dosáhla většina parametrů střední až vysoké míry reliability (ICC = 0,51–0,98). Z výsledků dle autorů není možné vyvodit žádný obecný závěr ohledně toho, jestli má vyšší reliabilitu jednodušší, nebo obtížnější posturálně náročná pozice, a taktéž nelze vyvodit žádné stanovisko, zdali je z hlediska míry reliability vhodnější testovat rovnováhu seniorů během *single task*, či s využitím kognitivních duálních úloh. Mezi parametry s nejvyšší reliabilitou (při *single task* i *dual task*) patřily mimo jiné parametr průměrná rychlost COP a parametr směrodatná odchylka průměrné rychlosti COP v ML směru.

Cílem třetího výzkumu (Bauer et al., 2008) bylo zhodnocení reliability pomocí ICC u čtyř parametrů získaných z COP. Do výzkumu bylo zařazeno 63 zdravých seniorů

s průměrným věkem 79 let. Všichni jedinci podstoupili měření na silové plošině ve čtyřech výzkumných situacích (klidový stoj o širší bázi se zrakovou kontrolou, klidový stoj o širší bázi s vyloučením zrakové kontroly, klidový stoj s ploskami u sebe se zrakovou kontrolou a klidový stoj s ploskami u sebe bez zrakové kontroly). Na základě výsledků této studie lze obecně říci, že všechny parametry COP měly uspokojivou míru reliability, a to ve všech testovacích situacích (0,71–0,95). Parametry COP získané za situací bez zrakové kontroly dosahovaly vyšší míry reliability oproti stejným parametrům COP získaným za situací se zrakovou kontrolou. Na základě výsledků není možné jednoznačně určit parametr s nejvyšší reliabilitou, jelikož u každé testovací situace měl nejvyšší reliabilitu jiný parametr COP.

Z výše prezentovaných výzkumů vyplývá, že nejvyšší reliabilitu (hodnocenou pomocí ICC) má parametr průměrná rychlost COP a parametr délka trajektorie COP.

## **2.3 Posturální kontrola během kognitivních duálních úloh**

Jak vyplývá z kapitoly 2 zabývající se hodnocením posturální kontroly, rovnovážné schopnosti mohou být hodnoceny buď za relativně klidných podmínek (tzn. bez přítomnosti jakýchkoliv perturbací), nebo za situací, jež jsou různým způsobem ztíženy. Jednou z možností, jak ztížit situaci při hodnocení posturální kontroly, jsou tzv. duální úlohy. Jedná o dvě simultánně prováděné činnosti, které jsou (většinou obě) ohodnoceny. V rámci výzkumu posturální kontroly se jedná o kombinaci posturálního úkolu s dalším úkolem, jenž může mít podobu motorické nebo kognitivní úlohy. Vzhledem k zaměření této práce se následující text bude věnovat výhradně duálním úlohám, jež kombinují posturálně náročné situace s kognitivními úkoly – neboli kognitivním duálním úlohám.

### **2.3.1 Teoretický podklad kognitivních duálních úloh**

Paradigma kognitivních duálních úkolů vychází z předpokladu, že na udržování rovnováhy se významnou měrou podílí také pozornost (jako jeden z kognitivních procesů). Pokud se jedinec věnuje současně dvěma nebo více činnostem náročným na pozornost, musí být pozornost mezi tyto činnosti distribuována. Kapacita pozornosti je

však omezená, což se může projevit na kvalitě provedení některé (nebo některých) ze současně prováděných činností (Balasubramaniam & Wing, 2002; Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Řízení posturální kontroly je tradičně spojováno s automatickými či reflexními procesy probíhajícími převážně na subkortikální a spinální úrovni, jež mají navíc minimální požadavky na kapacitu pozornosti. Některé výzkumy však poskytují odlišná zjištění (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Do procesů souvisejících s posturální kontrolou se kromě výše zmíněných oblastí zapojují také některé části kortexu včetně mozečku účastnícího se na zpracování senzitivních a sensorických informací (Balasubramaniam & Wing, 2002; Nelson & Ross, 1974; Ross & Nelson, 1973) a dále parietálního laloku, jenž se podílí na vytváření vnitřní reprezentace těla v prostoru (Huxhold et al., 2006).

Udržování rovnováhy navíc, na rozdíl od tradičních názorů, významnou měrou zvyšuje nároky na kapacitu pozornosti (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Jinými slovy je vyžadováno, aby se pozornost daného jedince zaměřila a soustředila i na procesy spojené s posturální kontrolou. Pozornost patřící ke kognitivním procesům je definovaná jako kapacita pro zpracování informací a přirozeně má své limity. Funkcí pozornosti je vpouštět do vědomí omezený počet informací, a tímto ho chránit před zahlcením nadměrným množstvím podnětů (Plháková, 2007). Pokud jedinec simultánně vykonává více úkonů náročných na kognitivní procesy (zejména na pozornost), klade větší nároky na kapacitu pozornosti, která tak musí být distribuována mezi vykonávané činnosti (Shumway-Cook & Woollacott, 2000; Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Z tohoto faktu vyplývá, že jeden (či více) z prováděných úkonů může vykazovat sníženou kvalitu provedení. Výše popsaného jevu využívají právě duální úlohy, které jsou používány v řadě výzkumů zabývajících se hodnocením posturální kontroly. Aby však došlo k vzájemnému negativnímu ovlivnění obou současně prováděných úkonů, je nutná dostatečná obtížnost řešené kognitivní úlohy. Během duálních úloh totiž nemusí vždy dojít pouze ke zhoršení úrovně posturální kontroly jedince, ale naopak i k jejímu zlepšení, a to právě na základě obtížnosti kognitivního úkolu – tedy na základě toho, jakou měrou kognitivní úkol klade požadavky na kognitivní procesy (pozornost) jedince. Huxhold et al. (2006) vztah mezi posturální kontrolou a nároky kognitivního úkolu během duální úlohy, kdy při jednoduchém úkolu dochází k paradoxnímu zlepšení úrovně rovnovážných



schopností, zatímco při volbě obtížnějšího úkolu k jejich negativnímu ovlivnění, označují jako *U-shaped relation* – nelineární vztah tvaru U.

Existuje více přístupů snažících se o teoretické objasnění interference obou úkolů (posturálního a kognitivního) vytvářejících situaci duální úlohy. Autoři studie z roku 2008 (Fraizer & Mitra, 2008) se zaměřují na vysvětlení snížení výkonu obou komponent duální úlohy (posturálního i kognitivního úkolu) oproti situaci řešení pouze jednoho samostatného úkolu. Dle těchto autorů snaha o vysvětlení teoretického podkladu duálních úkolů vede ke dvěma možným vysvětlením:

Prvním vysvětlením je teorie limitované kapacity (angl. *capacity theory*). Dle tohoto přístupu vychází interference duálních úkolů z paralelního sdílení limitovaných zdrojů nebo specializovaných struktur (omezená kapacita pozornosti). Když jsou tedy nároky na pozornost příliš velké, dochází ke snížení výkonu v jednom úkolu nebo v úkolech obou, jež tvoří situaci s duální úlohou.

Druhým možným vysvětlením je teorie zúženého místa (angl. *bottleneck theory*): Tento přístup vnímá zpracování úkolů jako sériové (sekvenční) zpracování procesů. Nervovému systému je „poručeno“ dočasně odložit jeden úkol ve prospěch simultánně prováděného upřednostněného úkolu, což vede ke snížení výkonu ve druhém úkolu.

V jiné studii jsou obdobně popisovány dva mechanismy vysvětlující výkon jedinců při duálních úlohách. Tyto mechanismy se týkají obou komponent (posturálního i kognitivního úkolu; Mitra & Fraizer, 2004):

První vysvětlení lze popsat jako soupeření o zdroje (angl. *resource-competition*). Jedná se o nejčastější používané vysvětlení výkonu jedinců při řešení duálních úloh. Tato teorie mluví o vzájemné interferenci obou konkurenčních úkolů, kdy se tyto úkoly vzájemně negativně ovlivňují kvůli limitovaným zdrojům (myšleno kvůli limitované kapacitě kognitivních procesů – zejména pozornosti). Alternativní označení teorie nazývané soupeření o zdroje je nezávislé řízení posturálních výchylek. V tomto případě je posturální kontrola nepřetržitě zapojena do minimalizace posturálních výchylek. Jakékoliv zvýšení těchto posturálních výchylek doprovázejících změny v úkolech (například přidání simultánně prováděného úkolu) je pak bráno jako selhání posturální kontroly při udržování výchylek pod kontrolou.

Druhým mechanismem vysvětlujícím výkon jedinců při duálních úlohách je adaptivní sdílení zdrojů (angl. *adaptive resource-sharing*). Toto alternativní vysvětlení mluví o řízení usnadňující provádění supraposturálního (kognitivního) úkolu. Minimalizace posturálních výchylek zde není primárním a automatickým cílem posturální kontroly. Posturální kontrola slouží primárně k umožnění a podpoře (navození nejlepší situace) realizace supraposturálního (kognitivního) úkolu. Protože se v tomto případě posturální kontrola nesnaží primárně zmenšovat posturální výchyly, jsou výchyly snižovány pouze v situacích, kdy minimalizace výchylek facilituje provádění supraposturálních aktivit.

To, jaká strategie bude volena, závisí na nastavení (podmínkách) výzkumu. Odpovědi posturální kontroly mohou být různé. Zvýšení posturálních výchylek tedy nemůže být automaticky považováno za indikaci posturální destabilizace. Zároveň, snížení posturálních výchylek při přidání kognitivního úkolu nemůže být interpretováno jako facilitující akce posturálního systému s cílem chránit posturu (Mitra & Fraizer, 2004).

Požadavky na kapacitu pozornosti jsou interindividuálně odlišné a velkou roli zde hraje věkový faktor a úroveň rovnovážných schopností. Snížená úroveň rovnováhy u jedinců seniorského věku byla původně přisuzována zejména zhoršenému stavu sensorického a motorického systému. Studie zaměřené na kognitivní výzkum však zhoršenou rovnováhu seniorů přisuzují mimo jiné i dalším vlivům, včetně deficitu v kapacitě pozornosti. Tyto předpoklady dokazuje opakované zvětšení výchylek COP, tedy zvýraznění posturální nestability seniorů v situacích duálních úloh (Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Mnohé ze studií zkoumajících úroveň posturální kontroly během duálních úloh se tak zaměřují na rozdíly v její kvalitě mezi odlišnými věkovými kategoriemi (typicky rozdíly mezi mladými dospělými a seniory) a také na odlišnosti mezi zdravými jedinci a jedinci s poruchou rovnováhy.

### 2.3.2 Design výzkumů využívajících kognitivní duální úlohy

Kognitivní duální úlohy mívají ve výzkumech zabývajících se hodnocením rovnováhy různou podobu. Rozdíly se týkají především výběru kognitivních úkolů a také charakteru posturálně náročných pozic.

#### Typy kognitivních úkolů

Přestože je ve výzkumech pracujících s kognitivními duálními úlohami shodně používán obecný pojem kognitivní úkol, poměrně často jsou voleny kognitivní úkoly zaměřené na paměť, respektive na různé složky pracovní paměti, ať už se jedná o verbální pracovní paměť, vizuálně prostorovou pracovní paměť, či jim nadřazený centrální exekutivní systém. Je nutné si uvědomit, že paměťové úkoly kladou současně nároky i na další poznávací procesy, především na pozornost. Mají-li se totiž informace kódovat ze sensorické paměti do paměti pracovní, je třeba jim „věnovat pozornost“. Důkazem může být to, že za řadou potíží s pamětí jsou ve skutečnosti výpadky pozornosti (Nolen-Hoeksema et al., 2012).

Některé paměťové úkoly jsou ve výzkumech pracujících s kognitivními duálními úlohami využívány opakovaně. Pro zatížení vizuálně prostorové pracovní paměti byl v několika studiích zvolen Brooks' Spatial Memory Task (Kerr et al., 1985; Maylor et al., 2001; Maylor & Wing, 1996; Swan et al., 2004). Jedná se o modifikaci úlohy použité ve studii Brookse (1967), která obsahuje sérii experimentů zkoumajících vzájemnou negativní interferenci čtení (verbálních procesů) a vizualizace (imaginace). Nicméně tento úkol je opakovaně využíván také ve výzkumech zaměřených na problematiku hodnocení posturální kontroly během duálních úloh. Protože se jedná o úlohu zatěžující vizuálně prostorovou paměť, úkolem testovaného jedince je představit si mřížku o velikosti 4 x 4 políček a do nich dle instrukcí v představě postupně dosazovat jednotlivé číslice. Počet instrukcí bývá v jednotlivých výzkumech různý a jejich formulace je následující: „Do dalšího políčka napravo vepište dvojku.“ Po ukončení měření je úkolem účastníka zapsat zapamatované číslice do připravené tabulky.

Pro zatížení verbální pracovní paměti je velice často používaným úkolem odečítání číslic pozpátku (angl. *counting backward*), přičemž nejčastěji odečítanými číslovkami jsou trojka nebo sedmička (Andersson et al., 2002; Maylor & Wing, 1996; Moghadam et al., 2011; Pellecchia, 2003; Sample et al., 2016; Swanenburg et al., 2008).

Dalším využívaným paměťovým úkolem cíleným na zapojení verbální pracovní paměti je Brooks' Nonspatial Memory Task. Tento úkol, který byl poprvé použit ve stejné studii jako Brooks' Spatial Memory Task (Brooks, 1967), nachází své využití též ve výzkumech zabývajících se hodnocením posturální kontroly během duálních úloh (Kerr et al., 1985; Maylor et al., 2001; Swan et al., 2004). Úkol je odvozen od Brooks' Spatial Memory Task, kdy instrukce (pro orientaci v mřížce) „napravo“, „nalevo“, „nahore“ nebo „dole“ jsou nahrazeny různými adjektivy. Formulace instrukcí mívá tuto podobu: „Do dalšího políčka rychlý/špatný/pomalý vepište dvojku.“ Po ukončení měření je úkolem účastníka zapsat zapamatovaná adjektiva do připraveného archu.

V některých studiích se pracuje pouze s jedním paměťovým úkolem (Brown et al., 1999; Balasubramaniam & Wing, 2002; Swanenburg et al., 2008), v jiných studiích je zařazen úkol na zatížení jak vizuálně prostorové pracovní paměti, tak verbální pracovní paměti. Jedná se o studie zkoumající vliv typu paměťového úkolu na míru negativního vzájemného ovlivňování kognitivních procesů a procesů zapojených do udržování rovnováhy (Kerr et al., 1985; Maylor et al., 2001; Riley et al., 2005; Swan et al., 2004). Maylor a Wing (1996) ve svém výzkumu využili kognitivní úkoly zaměřené na všechny tři složky pracovní paměti. Pro nároky na centrální exekutivní systém pracovní paměti byl zvolen úkol nahodilá generace číslic, pro vizuálně prostorovou paměť byl vybrán úkol Brooks' Spatial Memory Task a pro verbální paměť byly zvoleny úkoly počítání potichu (tj. co nejrychlejší počítání od 1 do 100 bez artikulace) a odečítání číslice tři pozpátku. Poslední úlohou bylo opakování řady čísel pozpátku (tj. opakování slyšené řady čísel, avšak v opačném pořadí). U tohoto úkolu autoři polemizují, zdali se jedná o zatížení spíše verbální, či vizuálně prostorové paměti.

Ne vždy jsou využívány paměťové kognitivní úkoly. Jako příklad dalších úkolů lze uvést verbální úlohu dokončování vět (angl. *Sentence Completion*; Shumway-Cook et al., 1997), vizuálně percepční úkol posuzování orientace přímek (angl. *Judgment of Line Orientation*; Shumway-Cook et al., 1997), poslechový úkol zaměřený na rozlišování výšky

prezentovaných tónů (Shumway-Cook & Woollacott, 2000), úlohu zaměřenou na identifikaci předem určených číslic v sérii prezentovaných číslic (Huxhold et al., 2006) nebo modifikovaný Stroopův test (angl. *Stroop test*; Melzer et al., 2001). Stroopův test je používán především ve výzkumech týkajících se pozornosti. Úlohu tvoří série názvů různých barev, které jsou napsány barevnými odstíny, jež těmto názvům neodpovídají. Úkolem jedince je postupně pojmenovat všechny tyto barevné odstíny, kterými jsou názvy barev vytištěny (Plháková, 2007).

U kognitivních úkolů je dále vhodné rozlišovat, zdali je při jejich řešení (tedy během současného měření rovnováhy na silové plošině) vyžadována artikulace. Nutnost artikulace souvisí s tím, zdali má testovaný jedinec odpovídat již během měření na silové plošině, nebo zda jsou jeho odpovědi zaznamenány až po ukončení měření. Tento aspekt je důležitý z důvodu možného negativního vlivu artikulace na výsledek měření rovnováhy (Dault et al., 2003).

### **Typy posturálně náročných situací**

Pokud jde o volbu posturálně náročných situací, ve většině studií zabývajících se hodnocením rovnováhy během duálních úloh je možné se setkat s klidovým stojem (angl. *upright quiet stance*; Andersson et al., 2002; Dault et al., 2001; Dault et al., 2003; Huxhold et al., 2006; Maylor et al., 2001; Maylor & Wing, 1996; Melzer et al., 2001; Moghadam et al., 2011; Pellecchia, 2003; Riley et al., 2005; Sample et al., 2016; Shumway-Cook & Woollacott, 2000; Shumway-Cook et al., 1997; Swan et al., 2004; Swanenburg et al., 2008), a to buď se stojem spojným, stojem spatným (s různou velikostí rotace v kyčelních kloubech), nebo případně se stojem o širší bázi. Další použitou posturálně náročnou pozicí je stoj tandemový (Dault et al., 2001; Kerr et al., 1985). Protože je ve výzkumech hodnocen vliv situace s duálními úlohami jak na úroveň posturální kontroly, tak na výsledek kognitivního úkolu, je obvykle (z důvodu kontrolních podmínek) kromě posturálně náročné pozice zařazen ještě sed na židli, kdy proband řeší pouze kognitivní úlohu v posturálně nenáročném situaci (Dault et al., 2001; Dault et al., 2003; Huxhold et al., 2006; Kerr et al., 1985; Maylor et al., 2001; Maylor et al., 1996; Shumway-Cook et al., 1997; Swanenburg et al., 2008). V některých studiích s duálními úlohami autoři pracují s přítomností, či nepřítomností zrakové kontroly (Kerr et al., 1985; Moghadam et al., 2011;

Riley et al., 2005; Swan et al., 2004; Swanenburg et al., 2008), v dalších studiích je zkoumán vliv povrchu (pevný versus nestabilní povrch), na němž participant během měření stojí (Dault et al., 2003; Moghadam et al., 2011; Pellecchia, 2003; Riley et al., 2005; Shumway-Cook & Woollacott, 2000; Shumway-Cook et al., 1997; Swan et al., 2004).

Pokud jde o délku měření na silové plošině, většina studií přizpůsobuje trvání záznamu skutečnosti, že je během měření na silové plošině simultánně prováděn ještě určitý kognitivní úkol. Délka měřených úseků se mezi jednotlivými studiemi liší, ale nejčastěji se pohybuje v rozmezí 20–30 s (např. Maylor et al., 2001; Maylor & Wing, 1996; Melzer et al., 2001; Moghadam et al., 2011; Riley et al., 2005; Shumway-Cook & Woollacott, 2000; Shumway-Cook et al., 1997; Swan et al., 2004; Swanenburg et al., 2008).

### **2.3.3 Limitace výzkumů využívajících kognitivní duální úlohy**

Hlavní limitací výzkumů s duálními úkoly je základní chápání duálních úkolů, kdy duální úkol bývá považován za čistou interakci pouze dvou procesů (např. procesů posturální kontroly a procesů spjatých s konkrétním kognitivním úkolem). Typické nastavení výzkumu totiž spočívá ve srovnání výchozí situace (tedy situace, kdy jedinec provádí pouze jeden úkol) se situací duálního úkolu (tedy se situací, kdy musí proband simultánně plnit posturální i kognitivní úkol). Následně se porovnávají výsledky úkolu prováděného za výchozí situace s výsledky úkolu prováděného během duální úlohy. Takto se postupuje jak u kognitivního úkolu, tak u posturálního úkolu (neboli posturálně náročné situace). Snahou výzkumníků je pak prokázat vzájemnou interferenci obou úkolů prováděných simultánně, jež se projevuje změnou ve výsledcích (výchozí situace versus situace s duální úlohou). Zde však vzniká základní problém, jelikož interakci během duálních úloh nelze brát jako interakci procesů s absolutními nároky na pozornost. Probandi používají v různé, bohužel nezjistitelné míře kognitivní procesy i v situaci řešení pouze posturálního úkolu. Nutné je poznamenat, že tyto kognitivní procesy nesouvisí s kognitivními procesy nutnými ke zvládnutí posturálně náročné situace. Při duálním úkolu se tedy k prvotnímu nespécifickému kognitivnímu „úkol“ neznámé kognitivní zátěže přidá ještě další explicitní kognitivní úkol s definovanou zátěží. Nemožnost zjistit kognitivní zátěž implicitního nespécifického kognitivního úkolu limituje interpretaci získaných výsledků (Fraizer & Mitra, 2008).

Pokud jde o design studií s duálními úlohami, zásadní limitací pro získání porovnatelných výsledků napříč výzkumy je už výše zmíněná rozdílná obtížnost jednotlivých úkolů, a to posturálních (posturálně náročné situace) i kognitivních. Volba různě obtížných posturálně náročných situací i kognitivních úkolů vede k odlišným jevům, kdy vlivem přidání druhého úkolu může dojít, jak ke snížení, tak ke zvýšení kvality provedení daných úkolů. Opakující se vzorce týkající se vzájemných vztahů mezi posturálními a kognitivními úkoly (tedy mezi jednotlivými komponentami duálních úloh) popsali autoři Fraizer a Mitra (2008) – viz kapitola 2.3.1 Teoretický podklad kognitivních duálních úloh.

Obtížnost jednotlivých komponent duálních úloh (tedy posturálního i kognitivního úkolu) není jediným faktorem ovlivňujícím výsledky. Fraizer a Mitra (2008) upozorňují, že srovnávání výsledků jednotlivých výzkumných studií zabývajících se kognitivními duálními úlohami je značně obtížné. Důsledkem toho je následně složité dojít k jasným závěrům a nalézt společné vzorce vycházející ze vzájemné interakce obou komponent duálního úkolu. Důvod spočívá v rozdílech týkajících se designu studií, jenž má zásadní vliv na konečné výsledky. Mezi hlavní metodologické rozdíly napříč studii s kognitivními duálními úlohami patří rozdílná forma podávání instrukcí, způsob hodnocení (volba odlišných parametrů COP) a následně interpretace výsledků.

Velký vliv hraje též volba odlišných posturálních i kognitivních úkolů. Z předchozí kapitoly (kapitola 3.2 Design výzkumů využívajících kognitivní duální úlohy) je zřejmé použití obrovského množství rozdílných úloh a jejich kombinací.

#### **2.3.4 Využití kognitivních duálních úloh ve výzkumu posturální kontroly**

První výzkumy zaměřené na hodnocení posturální kontroly během duálních úloh vznikly v 80. a 90. letech 20. století. Ve většině studií s duálními úlohami jsou hodnoceny obě současně prováděné činnosti – tzn. úroveň posturální kontroly i kvalita provedení kognitivního úkolu. Je tedy sledován vliv interference (vycházející z požadavků obou činností na kapacitu pozornosti) obou úkonů, jenž se může potenciálně projevit jak snížením úrovně rovnováhy, tak zhoršením výsledku kognitivního úkolu.

V roce 1985 uveřejnili autoři Kerr et al. (1985) studii zkoumající požadavky na kapacitu pozornosti, která je vyžadována procesy spjatými s posturální kontrolou. Cílem tohoto výzkumu s využitím duálních úloh bylo zjistit, zdali bude kognitivní úkol zaměřený na vizuálně prostorovou paměť interferovat s procesy zajišťujícími posturální kontrolu více než kognitivní úkol zaměřený na paměť verbální. Výzkum byl proveden na 24 mladých jedincích. Jako posturálně náročná pozice byl zvolen tandemový stoj, pro zatížení vizuálně prostorové paměti byl použit Brooks' Spatial Memory Task a pro zatížení verbální paměti Brooks' Nonspatial Memory Task. Výsledky potvrdily očekávání autorů, kdy při provádění paměťového úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou paměť dosahovali participanti horších výsledků (vyššího výskytu chyb) než při provádění verbálního paměťového úkolu. Úroveň posturální kontroly nebyla typem kognitivního úkolu nijak ovlivněna.

Cílem studie autorů Maylor a Wing (1996) bylo ověřit vliv věku na úroveň posturální kontroly při duálních úkolech, a to za využití různých typů simultánně prováděných kognitivních úkolů. Výzkum byl realizován na celkovém počtu 38 probandů rozdělených do dvou výzkumných souborů – skupina mladších jedinců (průměrný věk 57 let) a skupina starších jedinců (průměrný věk 77 let). Jako posturálně náročná pozice byl zvolen klidový stoj. Kromě toho participanti řešili kognitivní úkoly také v posturálně nenáročné situaci – vsedě. Ve studii bylo použito pět různých paměťových úkolů zaměřených na jednotlivé složky pracovní paměti. Jednalo se o tyto úkoly: nahodilá generace číslic, Brooks' Spatial Memory Task, počítání potichu od 1 do 100, odečítání čísllice tři pozpátku a opakování řady čísel pozpátku. Výsledky poukázaly na negativní vliv věku na úroveň posturální kontroly, a to ve všech testovacích situacích. Rozdíl v kvalitě posturální kontroly mezi oběma skupinami se navíc zvýraznil při úkolech zatěžujících vizuálně prostorovou paměť – Brooks' Spatial Memory Task a opakování řady čísel pozpátku.

O několik let později došli titíž autoři k podobným výsledkům (Maylor et al., 2001). Cílem bylo zodpovědět otázku, zdali se s rostoucím věkem zvyšuje míra interference procesů zajišťujících rovnováhu a kognitivních procesů. Do výzkumu bylo zařazeno celkem 70 probandů, kteří vytvořili šest výzkumných skupin dle dekád věku (dvacátníci až sedmdesátníci). Jako posturálně náročná pozice byl opět vybrán klidový stoj. Kromě toho byla opět zařazena i posturálně nenáročná situace – sed. Kognitivní úkoly byly tentokrát zvoleny dva – Brooks' Spatial Memory Task a Brooks' Nonspatial Memory Task.



Shodně s předchozím výzkumem se prokázal negativní vliv věku na míru vzájemného ovlivňování procesů zajišťujících rovnováhu a kognitivních procesů. Tato interference se projevila jak snižováním úrovně posturální kontroly, tak klesajícím výkonem v obou paměťových úkolech. Shodně s předchozími studii se rozdíl v kvalitě posturální kontroly mezi výzkumnými skupinami zvýraznil při úkolu Brooks' Spatial Memory Task zatěžujícím vizuálně prostorovou paměť.

Další podobný výzkum uskutečnili autoři Shumway-Cook et al. (1997). Ve své studii se zabývali rozdílnou úrovní posturální kontroly během duálních úloh u tří různých skupin jedinců (v celkovém počtu 60 probandů). Jednalo se o zdravé mladé dospělé (průměrný věk 31 let), zdravé seniory (průměrný věk 74 let) a seniory s historií pádů (průměrný věk 78 let). Jako posturálně náročná situace sloužil klidový stoj, a to ve dvou variantách – na pevném povrchu a na povrchu nestabilním. Kromě toho byla zařazena i posturálně nenáročná situace – sed. Pokud jde o kognitivní úkoly, byl použit jeden jazykový úkol (dokončování vět) a jeden vizuálně percepční úkol (posuzování orientace přímek). Autoři našli zajímavý trend, kdy při současném provádění kognitivních úkolů během posturálně náročných situací došlo u všech tří testovaných skupin k signifikantnímu zhoršení úrovně posturální kontroly oproti měření bez současného kognitivního úkolu, avšak ne výsledků kognitivních úkolů. Větší interference mezi procesy zajišťujícími rovnováhu a kognitivními procesy nenastala při vykonávání vizuálně percepčního úkolu, ale naopak při provádění úkolu jazykového. Autoři tento jev vysvětlují tím, že při zadání úkolu zaměřeného na jazyk byly zatíženy procesy spojené s vizuálním vnímáním. Obdobně jako v předešlých studiích se při ztížení podmínek projevily výrazněji rozdíly v kvalitě posturální kontroly mezi zdravými mladými jedinci a zdravými seniory. Úroveň posturální kontroly seniorů s poruchou rovnováhy byla oproti zbývajícím dvěma skupinám výrazně snížena během duálních úloh s oběma kognitivními úkoly.

Stejní autoři (Shumway-Cook & Woollacott, 2000) se zaměřili na vliv simultánně prováděného kognitivního úkolu na úroveň posturální kontroly, a to za šesti různých podmínek vyznačujících se sníženými jednotlivými sensorickými vstupy. Součástí výzkumu bylo též zhodnotit vliv věku a rovnovážných schopností na kvalitu posturální kontroly během duálních úloh (resp. na rozdíly v požadavcích na kapacitu pozornosti). Studie byla realizována na třech výzkumných skupinách lišících se věkem a rovnovážnými

schopnostmi. Jednalo se o zdravé mladé dospělé (průměrný věk 35 let), zdravé seniory (průměrný věk 75 let) a seniory s historií pádů (průměrný věk 85 let). Posturální stabilita byla měřena v klidovém stoji, a to za kombinace různých podmínek. Jako kognitivní úkol byla zvolena úloha zaměřená na poslech tónů o různé výšce, kdy úkolem probanda bylo co nejrychleji porovnávat výšky tónů. Výsledky opět ukázaly rozdíly mezi jedinci lišícími se jak věkem, tak přítomností či nepřítomností poruch rovnováhy. U zdravých mladých jedinců nebyl zaznamenán vliv zařazení simultánně prováděného úkolu na úroveň posturální kontroly, a to v žádné ze šesti testovaných podmínek. Na rozdíl od zdravých mladých jedinců posturální kontrola u zdravých seniorů byla negativně ovlivněna simultánně prováděným kognitivním úkolem, avšak pouze ve dvou nejtěžších podmínkách se sníženými sensorickými vstupy. Posturální kontrola u seniorů s výskytem pádů byla negativně ovlivněna simultánně prováděným kognitivním úkolem ve všech testovaných podmínkách.

Výsledky všech výše prezentovaných studií popisují vliv duálních úloh na snížení výkonu některého ze simultánně prováděných úkonů – ať už jde o snížení úrovně posturální kontroly, či horší výsledek kognitivního úkolu. Obdobné výsledky prezentují např. i Ceyte et al. (2014), Melzer et al. (2001) nebo Pellecchia (2003).

Existuje však také řada výzkumů uvádějících opačná zjištění než výše zmíněné studie – například Andersson et al., 2002; Dault et al., 2001; Jamet et al., 2007; Resch et al., 2011; Richer et al., 2017; Riley et al., 2005; Swan et al., 2004. Autoři těchto studií došli k závěrům, že se úroveň posturální kontroly během duálních úloh zlepšuje, avšak ne za všech podmínek. Huxhold et al. (2006) uvádějí, že úroveň posturální kontroly během duálních úloh může být ovlivněna jak pozitivně, tak negativně, a to v závislosti na obtížnosti simultánně prováděného úkolu (resp. na jeho nárocích na pozornost) a také na věku (resp. na kvalitě posturální kontroly jedince a též stavu jeho kognitivních funkcí). Zatímco jednoduchý simultánně řešený kognitivní úkol může úroveň posturální kontroly zlepšit, obtížný kognitivní úkol může naopak úroveň rovnováhy ovlivnit negativně. Popsaný jev vychází z výsledků studie (Huxhold et al., 2006), kdy při stoji na silové plošině bez simultánního kognitivního úkolu a též při duální úloze s obtížným kognitivním úkolem došlo k větším výchylkám COP než při duální úloze s úkolem jednodušším. Výsledky výzkumu se však potvrdily pouze u skupiny seniorů (průměrný věk 70 let), ale ne u souboru mladých jedinců (průměrný věk 24,5 let). Zde došlo ke zlepšení výsledků

posturální kontroly (oproti situaci bez simultánního úkolu) jak u jednoduchého, tak u obtížného kognitivního úkolu. Autoři dále odkazují na další výzkumy s obdobnými výsledky (Deviterne, et al., 2005; Vuillerme et al., 2002).

Je tedy zřejmé, že výsledky studií s duálními úlohami jsou značně rozdílné, často s protichůdnými zjištěními. K rozdílným výsledkům dochází pravděpodobně vlivem nejednotného designu studií a výběru participantů (Fraizer & Mitra, 2008; Huxhold et al.; 2006).

Autoři Fraizer a Mitra (2008) popsali jisté jednotné vzorce týkající se vzájemného vlivu posturálních a kognitivních úkolů.

Pokud jde o duální úlohy s využitím posturálně výrazně náročných situací (využívajících perturbace), lze vyzorovat, že provádění kognitivního úkolu je negativně ovlivněno (dochází ke snížení výkonu v kognitivních úkolech) v situacích, kdy při stoji dochází k mechanickým či vizuálním perturbacím (stoj je narušován nějakými externími podněty). To se projevuje zejména u starších jedinců a jedinců s porušenou rovnováhou (ve srovnání se zdravými mladými jedinci). Stejně tak provádění posturálního úkolu je negativně ovlivněno (dochází ke snížení výkonu při udržování rovnováhy – tedy ke zvýšení posturálních výchylek) v situacích, kdy při stoji dochází k mechanickým či vizuálním perturbacím. Jev je opět patrnější u starších jedinců a jedinců s porušenou rovnováhou. Naopak u mladých zdravých jedinců je popisován opačný efekt – tedy snížení posturálních výchylek.

Pokud jde o duální úlohy s využitím posturálně méně náročných situací, lze pozorovat, že provádění kognitivního úkolu je negativně ovlivněno (dochází ke snížení výkonu v kognitivních úkolech) i v situacích, kdy se jedná o stoj bez zevních perturbací, avšak stoj (posturálně náročná pozice) musí mít zvýšené nároky na udržování rovnováhy – např. stoj se zúženou opěrnou bází (stoj spojný či tandemový stoj atd.). U vlivu na kvalitu provedení posturálního úkolu jsou výsledky nejednotné. Z některých studií vyplývá zvýšení posturálních výchylek (tedy zhoršení kvality provedení), jiné studie ukazují na snížení posturálních výchylek (tedy zlepšení kvality provedení). Další studie nacházejí posturální výchylky nezměněné. Zhoršení výkonu opět platí více pro starší jedince a jedince s porušenou rovnováhou.

Poznatky autorů Fraizera a Mitry (2008) lze shrnout tak, že během kognitivních duálních úloh bývá více negativně ovlivněna kvalita provádění kognitivního úkolu. Méně jasný je vliv duálních úkolů na posturální kontrolu. Negativní vliv duálních úloh je pak více zřetelný u starších jedinců a jedinců s poruchou rovnováhy. Naopak u mladých lidí jsou výsledky nejednotné.

Autoři Mitra a Fraizer (2004) rozvádějí dále své poznatky popisem tří možných vzorců výsledků získaných během duálních úloh:

První vzorec se nazývá facilitační. K facilitačnímu vzorci dochází v podmínkách, kdy je posturální komponenta duálního úkolu relativně snadná (např. stoj na velké a pevné podložce bez perturbací), avšak supraposturální (kognitivní) úloha je náročná, s vyššími nároky na preciznost (např. nutnost přesné fixace zraku), a kvalita posturálního nastavení může navíc kladně podpořit provádění kognitivního úkolu.

Druhý vzorec nese označení nezávislé snižování posturálních výchylek a dochází k němu ve dvou situacích. První situace nastává, když je posturální úkol relativně obtížný (např. přítomnost perturbací), takže všechny dostupné kognitivní zdroje jsou zapojeny do posturální kontroly. Provádění supraposturálního (kognitivního) úkolu je pak zhoršeno nebo pozastaveno, čemuž se pak říká princip postura na prvním místě (angl. *posture first principle*). Ke druhé situaci dochází, když jsou nároky na preciznost supraposturálního (kognitivního) úkolu nízké nebo tento úkol nemůže být facilitován posturálním nastavením a zároveň jsou velké nároky na udržení postury (náročný posturální úkol).

Třetí vzorec je hybridní. Řízení postury je zčásti facilitační a zčásti nezávislé.

## **2.4 Vliv stárnutí na úroveň posturální kontroly**

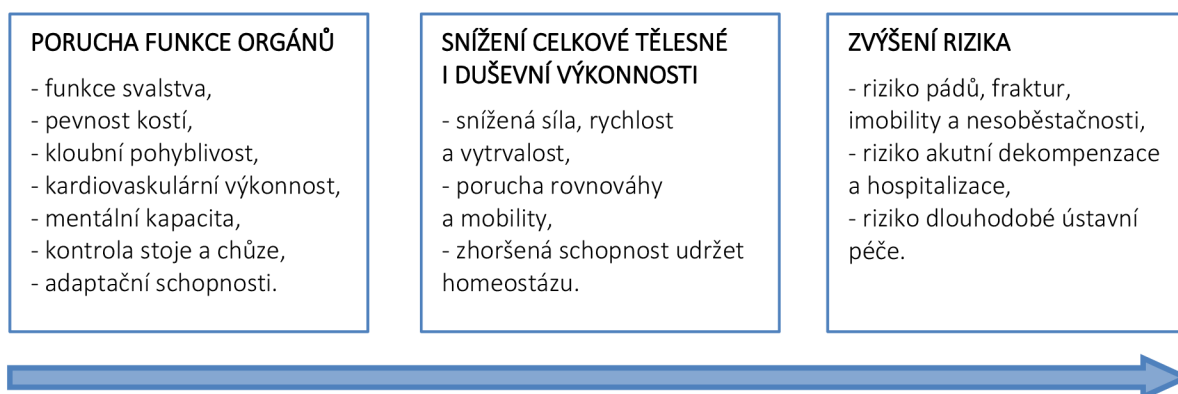
Zhoršování kvality posturální kontroly (jinými slovy rozvoj instability) je jedním z přirozených procesů souvisejících se stárnutím. Stárnutí (neboli involuce) je definováno jako univerzální a komplexní proces postihující veškerou živou hmotu a je popisováno převážně jednotlivými vlastnostmi a projevy, jež jsou variabilní, vysoce individuální a jejich věkový nástup se liší mezi jednotlivými orgánovými soustavami (Otová & Kalvach, 2004). Na obrovskou variabilitu mezi jednotlivci týkající se procesu stárnutí upozorňují

také Shumway-Cook a Woollancott (2001). Variabilita involuce dle těchto autorů může být až taková, že u některých jedinců nezpůsobuje téměř žádný úpadek v kapacitě fyzické výkonnosti.

Problematiku rozdílné fyzické a psychické výkonnosti seniorů přehledně shrnuje stupnice Spirduse et al. (1995; in Shumway-Cook a Woollancott, 2001). Stupnice obsahuje šest úrovní od elitně fyzicky zdatných seniorů až po jedince absolutně závislé na pomoci druhých. Každý stupeň je pak charakterizován právě tím, co daní jedinci v tomto stupni zvládají:

1. Elitně fyzicky zdatní senioři: sportovci na profesionální úrovni.
2. Fyzicky zdatní senioři: středně náročná fyzická práce, vytrvalostní sporty, zvládání většiny volnočasových aktivit.
3. Fyzicky nezávislí senioři: lehká fyzická práce, volnočasové aktivity jako procházky či práce na zahradě, sport s nízkými požadavky na fyzickou výkonnost.
4. Fyzicky slabí senioři: jednoduché domácí práce, příprava jídla.
5. Fyzicky závislí senioři: neovládání základních každodenních úkonů (hygiena, jídlo, transfery apod.), potřeba péče.
6. Senioři s disabilitou: závislost na pomoci ve všech úkonech.

Proces stárnutí je typicky spojen s rozvojem polymorbidity a rizikem vzniku tzv. stařecké křehkosti (angl. *frailty*). Stařecká křehkost je způsobena fyziologickým poklesem výkonnosti orgánů ve stáří a jejich poruchami. Orgánové poruchy zahrnují především úbytek svalové a kostní hmoty (sarkopenii a osteopenii až osteoporózu), snížení kardiovaskulární výkonnosti a zhoršení funkcí centrální nervové soustavy (včetně snížení mentální kapacity, omezení adaptačních schopností a zhoršení kvality posturální kontroly – tedy kontroly stoje a chůze). Díky těmto změnám na úrovni orgánů a orgánových soustav dochází ke snížení celkové tělesné i duševní výkonnosti (včetně poruch rovnováhy a mobility), čímž se výrazně zvyšuje riziko pádů, vzniku fraktur a následného rozvoje imobility a nesoběstačnosti. To vše může vést k akutním dekompenzacím a nutnosti jak hospitalizace, tak dlouhodobé ústavní péče (Topinková, 2010). Koncept stařecké křehkosti shrnuje Obrázek 7.



Obrázek 7. Koncept stařecké křehkosti (upraveno dle Topinkové, 2010, 9).

Instabilita (neboli porucha rovnováhy) tedy neodmyslitelně patří do konceptu geriatrické křehkosti, v rámci multikauzálního rozvoje geriatrické křehkosti se vzájemně podmiňuje především s hypomobilitou a depresí, je podmiňována malnutricí a sarkopenií a sama dále podněcuje vznik dekonidice a úzkosti (Růžička et al., 2008).

Zhoršování kvality posturální kontroly souvisí s rostoucím věkem, tudíž i u relativně zdravých seniorů bývá rovnováha do jisté míry snižena. Dle Růžičky et al. (2004) si většina starších jedinců přechodně či trvale stěžuje na pocity závrativosti, nejistotu při chůzi, slabost nohou a zhoršenou pohyblivost. Pokud jde o objektivní příznaky poruch rovnováhy a snížené posturální kontroly, popisují například autoři Abrahamová a Hlavačka (2008) u zdravých jedinců již ve věku nad 60 let signifikantně zvýšené výchylky těla (angl. *body sway*) ve srovnání s mladými jedinci, a to za relativně jednoduchých podmínek v klidovém stoji. Pokud se podmínky pro měření posturální stability ztíží, rozdíly mezi mladými jedinci a seniory se ještě zvýrazní (Woollancott & Shumway-Cook, 2002).

Zhoršená posturální kontrola je jedním z hlavních příznaků stárnutí a její vznik má heterogenní povahu. Autoři Růžička et al. (2008) v tomto smyslu rozlišují několik problémových okruhů rozvoje instability:

- Porucha receptorové a centrálně analytické části rovnovážného systému.
- Porucha efektorové části rovnovážného a muskuloskeletálního systému:
  - snížená svalová síla a svalová vytrvalost,

- omezený rozsah pohybu v kloubech (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).
- Vliv vnějších příčin – nevhodná obuv, bariéry atd.
- Kombinace předchozích příčin.
- Deficit v kapacitě pozornosti (Woollancott & Shumway-Cook, 2002).

Ke „klasickému“ pojetí příčin instability je velice vhodné doplnit i další příčinu, kterou je deficit v kapacitě pozornosti – viz poslední bod ve výše zmíněném výčtu příčin rozvoje instability. Na tuto často opomíjenou příčinu poukazují zejména výzkumy zabývající se kognitivními funkcemi. Autoři kognitivně laděných výzkumů zaměřených na zkoumání posturální stability tvrdí, že k většině pádů u seniorů s poruchami rovnováhy nedochází během „nerušeného“ stoje či chůze, ale v situacích, kdy se tito jedinci věnují ještě nějaké další činnosti – typicky rozhovoru či manipulaci s předměty (Tideiksaar, 1996; in Woollancott & Shumway-Cook, 2002). Z tohoto lze usuzovat, že k pádům u seniorů nedochází pouze kvůli porušené rovnováhy. Zdá se, že důvodem je spíše nemožnost efektivně distribuovat omezenou kapacitu pozornosti (během simultánního věnování se více úkonům) mezi více procesů, které jsou již navíc věkem zhoršené. Těmito procesy jsou myšleny procesy posturální kontroly a kognitivní procesy.

Na závěr kapitoly je vhodné zdůraznit, proč jsou poruchy rovnováhy (nejen) u seniorů takovým problémem. Hlavním rizikem spojeným s instabilitou jsou totiž pády, kterých s rostoucím věkem přibývá. Pády jsou zdrojem významné sekundární morbidity a mortality, jež plyne ze zlomenin, nutnosti imobilizace a dalších vážných zranění a následných stavů. Proto se v tomto smyslu často hovoří o komplexním problému instabilita – pády – osteoporóza – zlomeniny (Růžička et al., 2004).

#### **2.4.1 Regresní změny smyslových orgánů**

Regresní změny související se stárnutím se týkají všech sensorických systémů (neboli smyslových orgánů) podílejících se na posturální kontrole:

- zrak,
- somatosenzorické systémy (propriocepce a exterocepce),

- vestibulární systém.

Pokud je porušen více než jeden sensorický systém důležitý pro zajišťování posturální kontroly, jedná se o multisenzorický deficit (angl. *multisensory deficit*). Jedinci s multisenzorickým deficitem tak mají omezenou možnost kompenzovat nefunkční smyslový systém pomocí jiného (funkčního) sensorického systému (Shumway-Cook & Woollancott, 2001).

Regresní změny jednotlivých smyslových systémů jsou rozebrány níže (kapitoly 4.1.1, 4.1.2. a 4.1.3).

#### **2.4.1.1 Somatosenzorické systémy – propioceptory**

K propioceptorům se řadí svalová vřeténka, Golgiho šlachová tělíska, volná nervová zakončení v kloubech.

Při popisu věkem podmíněných změn propioceptivních systémů je vhodné tyto degenerativní změny rozdělit na několik typů změn, a to na morfologické změny jednotlivých receptorů (především svalových vřetének), na morfologické změny týkající se inervace, na změny týkající se senzitivity a na změny související s integrací aferentních informací. Dalším tématem jsou pak klinické projevy výše zmíněných degenerativních změn, jež mají vliv na úroveň posturální kontroly.

#### **Morfologické změny propioceptorů**

Svalová vřeténka dle přehledových studií (Henry & Baundry, 2019; Shaffer & Harrison, 2007) podléhají následujícím změnám podmíněným stárnutím. Dochází ke ztluštění obalů svalových vřetének, ale jejich celkový průměr se zmenšuje. Dále se snižuje množství intrafuzálních svalových vláken ve svalech. Objeveny byly též změny týkající se funkce myozinu. Na animálních modelech pak bylo zjištěno snížení citlivosti svalových vřetének.

Autoři do dvě přehledové studie (Shaffer & Harrison, 2007) zahrnuli dva výzkumy věnující se projevům stárnutí Golgiho šlachových tělísek a dalších kloubních receptorů.



Obě studie shodně poukazují na signifikantní snižování množství receptorů (včetně Golgiho šlachových tělísek) ve zkoumaných kloubních ligamentech se zvyšujícím se věkem jedinců.

### **Změny týkající se inervace proprioceptorů**

Pokud jde o zakončení nervových vláken na svalových vřeténcích, byla zjištěna změna tvaru primárních (anoluspirálních) nervových aferentních zakončení (vláken typu Ia), kdy tato vlákna se zvyšujícím se stářím ztrácí svou anoluspirální konfiguraci. Dochází k jejich zužování a jejich tvar se stává nepravidelným (Henry & Baundry, 2019).

S postupujícím věkem jedinců se snižuje celkový počet nervových vláken, přičemž k výraznému snížení počtu dochází zejména u silných nervových vláken, kam patří i aferentní vlákna typu Ia. Tato vlákna zajišťují aferentaci právě ze svalových vřetének, čímž dochází k výraznému poklesu aferentních proprioceptivních informací. Dalším nálezem je věkem podmíněné zmenšování průměru axonů (Henry & Baundry, 2019).

Další věkem zapříčiněná změna se týká senzitivity primárních nervových zakončení na svalových vřeténcích, jež se projevuje sníženou reaktivitou na vibrace i na napínavé reflexy (Henry & Baundry, 2019).

### **Integrace aferentních proprioceptivních informací**

Stárnutí negativně ovlivňuje jak spinální, tak supraspinální integraci aferentních informací z proprioceptorů. Příčinou zhoršené spinální integrace je zpomalená rychlost vedení neuronů, snížený počet míšních interneuronů a změny v synaptických přenosech signálu na Ia vláknech. S vlivem stárnutí na supraspinální integraci proprioceptivního signálu souvisí např. zhoršená integrita bílé i šedé kůry mozkové, změny v mozkových neurochemických procesech týkajících se například koncentrací serotoninu a zvýšení neurálního šumu (Henry & Baundry, 2019).

## Věkem podmíněné klinické změny propioceptorů

Všechny výše popsané anatomické změny a změny funkce propioceptorů zapříčiněné stářím mají své klinické projevy. Jedná se především o snížení kinestezie (vnímání pohybu, pohybocit) ve zkoumaných kloubních spojeních (Shaffer & Harrison, 2007). Zjištěna byla též věkem snížená statestezie (polohocit; Kaplan et al., 1985).

Zhoršená kinestezie a statestezie se pak projevuje zvýšenými posturálními výchyly, které lze považovat za známku zhoršení úrovně posturální kontroly (Henry & Baundry, 2019). Následující text shrnuje zjištění popisující vliv porušené propiocepce dolních končetin na posturální kontrolu seniorů.

První zjištění se týká věkem snížené závislosti posturální kontroly na propioceptivních informacích. Zjištění vychází z výzkumů dokazujících menší vliv vibrací (aplikovaných do oblasti Achillovy šlachy za účelem rušení propiocepce z této oblasti) na řízení rovnováhy u starších jedinců ve srovnání s jedinci mladými (Ehsani et al., 2018; Pyykkö et al., 1990; Toosizadeh et al., 2018).

Druhé zjištění se týká věkem podmíněné poruchy detekovat a zpracovat propioceptivní signály, kdy byla potvrzena úzká souvislost zhoršené statestezie/kinestezie se sníženou úrovní posturální kontroly (Anson et al., 2017; Lord et al., 1991; Speers et al., 2002).

U seniorů byla dále zjištěna výraznější koaktivace svalů dolních končetin (konkrétně koaktivace plantárních a dorzálních flexorů hlezenního kloubu), s cílem zvýšení tuhosti kloubů, kdy tímto mechanismem dochází ke zlepšení mechanické stability. Lze tedy říci, že nervový systém starších jedinců se spoléhá více na feedforward strategie udržování rovnováhy než na strategie feedback. Je však nutné upozornit, že se nejedná o zcela účinný kompenzační mechanismus posturální kontroly. Zpevnění nebo spíš ztuhnutí svalstva dolních končetin zvyšuje energetické nároky týkající se procesů řízení rovnováhy. Větší závislost na feedforward strategiích zase omezuje automatické procesy posturální kontroly (Baudry & Duchateau, 2012; Donath et al., 2015; Finley et al., 2012; Henry & Baundry, 2019).

Další závěr se týká věkem zvýšené závislosti posturální kontroly na vizuálních informacích. Věkem zapříčiněné snížení spolehlivosti propioceptivních informací (viz první a druhé zjištění) je totiž kompenzováno upřednostněním vizuálních informací pro účely řízení rovnováhy (Jeka et al., 2010; Simoneau et al., 1999; Yeh et al., 2014). Je však opět nutné zdůraznit, že ani v tomto případě se nejedná o zcela účinný kompenzační mechanismus. Strategie upřednostňující vizuální informace pro řízení rovnováhy jsou totiž opožděné a méně přesné ve srovnání s informacemi z proprioceptorů (Jeka et al., 2010; Lord & Ward, 1994).

Poslední zjištění se vztahuje k řídicím procesům posturální kontroly, kdy byla u seniorů zjištěna věkem podmíněná nadměrná aktivita vědomých procesů posturální kontroly. Jak je známo, motorické procesy mohou být jak vědomé, tak automatické. Věkem podmíněné negativní změny propiocepce (svalových vřetének) zapříčiňují výraznější zapojení vědomých procesů do řízení rovnováhy, čímž se výrazně zvyšuje kognitivní zátěž (Baudry & Gaillard, 2014; Ingram et al., 2000; Ozdemir et al., 2018; Woollancott & Shumway-Cook, 2002). Porušená propiocepce tak vede ke zvýšení požadavků na kapacitu pozornosti, a to i u nenáročných posturálních situací.

#### **2.4.1.2 Somatosenzorické systémy – exteroceptory**

Exteroceptory (neboli kožní receptory) zajišťující kožní cití zahrnují Ruffiniho tělíska, Merkelovy disky, Meissnerova tělíska, Paciniho tělíska a Krauseho tělíska.

Obdobně jako propioceptory i exteroceptory podléhají věkem způsobeným morfologickým změnám i změnám funkce s příslušnými klinickými projevy. Tomuto tématu se věnuje přehledová studie autorů Shaffera a Harrisona (2007).

Pokud jde o poruchy na úrovni morfologie a funkce, výzkumy se věnují především Paciniho a Meissnerovým tělískům. U obou typů receptorů byly odhaleny věkem podmíněné změny ve struktuře. V případě Meissnerových tělísek dochází i ke zmenšování jejich velikosti. U starších jedinců byl dále zaznamenán pokles počtu obou typů tělísek, s čímž souvisí i snížení jejich koncentrace. Paciniho tělíska vykazují zhoršenou vibrotaktilní citlivost (Shaffer & Harrison, 2007).

Změny v anatomii a fyziologii kožních receptorů zapříčiňují různé klinické projevy. Shaffer a Harrison (2007) zmiňují následující projevy:

- zhoršené vnímání vibrací,
- snížení vnímání dotyku při testování filamentem,
- zhoršená dvoubodová diskriminace.

### 2.4.1.3 Zrak

Zrak je druhým sensorickým systémem podílejícím se na posturální kontrole. I když je hlavní role při udržování rovnováhy přisuzována propiocepci, významnost zraku roste s věkem. Na tuto skutečnost upozorňují například autoři Poulain a Giraudet (2008), kteří v úvodu svého článku citují množství prací potvrzujících důležitost zraku pro řízení rovnováhy u starších jedinců. Dle výsledků citovaných studií je u seniorské populace výrazný rozdíl mezi úrovní posturální kontroly v situacích se zrakovou kontrolou a v situacích bez ní. Další výzkumy zase upozorňují na věkem narůstající nestabilitu vyvolanou experimentálními rušivými podněty rušícími zrakové informace, a to zejména u jedinců s porušenou propiocepcí.

Důležitost zraku pro posturální kontrolu seniorů se projevuje i tím, že věkově podmíněné změny zrakových funkcí jsou považovány za hlavní faktor přispívající k vysoké incidenci pádů u seniorské populace (Lord et al., 2002). Porucha zraku též negativně ovlivňuje mobilitu starších jedinců, což výrazně snižuje kvalitu jejich života (Wahl et al., 1999).

Z výzkumu autorů Poulaina a Giraudeta (2008) vyplývá, že nárůst důležitosti zraku při řízení rovnováhy se netýká pouze seniorů nad 60 let, nýbrž i jedinců ve středním věku mezi 44–60 lety. Výsledky výzkumu ukázaly na věkem podmíněnou zvýšenou roli zraku při řízení rovnováhy. Dále byla zjištěna větší citlivost jedinců ve středním věku na zahlcení pozornosti vizuálními podněty, jež se projevovала sníženou úrovní posturální kontroly během měření rovnováhy se simultánně prováděnými vizuálními úkoly.

Věkově podmíněné změny zraku se odehrávají na třech (resp. čtyřech) úrovních vizuálního systému (Andersen, 2012):

1. změny v optice oka;
2. změny na úrovni zpracovávání sensorických informací, tedy od změn týkajících se sítnice (*retina*) až po změny primární korové zrakové oblasti (area 17; oblast v *sulcus calcarinus* a podél něj);
3. změny na úrovni procesů percepce, tedy změny týkající se sekundární (asociační) korové zrakové oblasti (area 18 a 19; oblast přilehlá k primární zrakové kůře);
4. změny na úrovni pozornosti a vizuální paměti.

### **Změny v optice oka**

Změny na první úrovni vizuálního systému se týkají projekce světla na sítnici a zahrnují následující věkem podmíněné změny (Andersen, 2012):

- změny v biochemii rohovky,
- změna tloušťky rohovky,
- snížená průhlednost čočky,
- změny sklivce,
- změny zaostřování.

Andersen (2012) upozorňuje na to, že ač výše zmíněné změny optiky mají za následek snížení světla dopadajícího na sítnici, není možné tyto změny považovat za hlavní důvod věkem zhoršené zrakové percepce. V úvahu je nutné brát i změny na dalších úrovních zrakového systému.

### **Změny na úrovni zpracovávání sensorických informací**

Změny na druhé úrovni vizuálního systému zahrnují změny neurálních mechanismů od sítnice až po primární zrakovou oblast mozkové kůry. Jedná se o procesy detekce a rozlišování základních vlastností vizuálních podnětů, jako je určování intenzity světla, orientace, kontrastu a pohybu. Lze říci, že tyto procesy tvoří základní stavební kameny pro další procesy probíhající na vyšších úrovních nervového systému. Věkem podmíněné morfologické změny zahrnují změny tyčinek, čípků a retinálních gangliových buněk a dále

snížení jejich počtu. Tyto změny se pak negativně projevují snížením senzitivity při určování intenzity světla, sníženou citlivostí na určování rozdílů v kontrastu (což následně ovlivňuje procesy na vyšších úrovních CNS jako například detekce objektů) a zhoršenou schopností detekovat pohyb objektů (Andersen, 2012).

### **Změny na úrovni procesů percepce**

Na třetí úrovni vizuálního systému dochází k integraci (ke vzájemné kombinaci) všech vizuálních vlastností okolního prostředí zjištěných na druhé úrovni vizuálního zpracování. Tyto vlastnosti jsou vzájemně kombinovány pro potřeby realizace složitějších vizuálních úkolů, jako jsou vnímání 2D tvaru (např. obrysu), vnímání 3D tvaru (včetně hloubky) a vnímání rozložení okolní scény a analýza optických informací potřebných pro pohyb a pro vyhýbání se kolizím s okolními předměty. Věkem podmíněné změny postihují zejména střední a vyšší kortikální oblasti vizuálního zpracování. Konkrétně se jedná o oblast V3A, oblast MT+, oblast LO a další (Andersen, 2012). Oblasti označované jako V3A a MT+ (nazývaná také jako V5) jsou zaměřené na vnímání pohybu. Oblast s označením LO hraje důležitou roli při rozeznávání velkých objektů, a navíc patří do komplexu V4d zodpovědného též za vnímání pohybu (Culham, n. d.).

#### **2.4.1.4 Vestibulární systém**

Třetím sensorickým systémem podílejícím se na posturální kontrole je vestibulární systém, k němuž kromě vestibulárního aparátu (vestibulární orgány s vlasovými buňkami) náleží také vestibulární nerv (VIII. hlavový nerv – nervus vestibulocochlearis), mozkový kmen, mozeček, nervové dráhy thalamu a vestibulární kortikální síť (Allen et al., 2017).

Obdobně jako předchozí sensorické systémy i systém vestibulární podléhá věkově podmíněným změnám. Negativní změny mohou postihovat jakoukoliv část tohoto rozsáhlého systému, přičemž centrální část vestibulárního systému (zpracovávající signál) bývá postižena častěji než část periferní (vedoucí signál; Allen et al., 2017). Výskyt dysfunkce vestibulárního systému narůstá s přibývajícím věkem. Zatímco ve věkové

kategorii 40–49 let trpí poruchami vestibulárních funkcí pouze 18 % jedinců, ve věkovém rozmezí 60–69 už je to 49 % jedinců a u seniorů nad 80 let je prevalence 85 % (Agrawal et al., 2009).

Věkem podmíněné poruchy vestibulárního systému se odehrávají jak na úrovni morfologie (strukturální poruchy), tak na úrovni funkce. Strukturální změny se týkají především vláskových (typu I. i II.) a gangliových buněk, jež se vyskytují jak v utriculu a sacculu (vejčitý a kulovitý váček), tak v polokruhovitých kanálcích. Dochází především k poklesu množství a ke snížení hustoty výskytu těchto buněk. Další strukturální změny pak postihují vestibulární nervová vlákna. Zde sice nedochází ke snížení jejich počtu, byl však prokázán zvýšený výskyt amyloidu v těchto nervových vláknech. Ani otokonie (vápenatá tělíška) vyskytující se ve váčcích utriculu a sacculu nejsou ušetřena věkem podmíněným změnám. U otokoní byla zjištěna změna jejich tvaru a velikosti (zmenšení) a dále snížení jejich množství. (Allen et al., 2017; Ji & Zhai, 2018) Pokud jde o centrální část vestibulárního systému, přítomny jsou změny týkající se mozkového kmene a mozečku, a to především ve smyslu snížení počtu a hustoty neuronů a zmenšení objemu cerebella (Allen et al., 2017).

Strukturální poruchy dále podmiňují poruchy funkce a ty lze objektivně prokázat na základě zhoršených výsledků měření několika testů. Jedná se o následující testy (Ji & Zhai, 2018):

- cervikální vestibulární evokované myogenní potenciály (angl. *cervical vestibular evoked myogenic potentials*; cVEMP),
- okulární vestibulární evokované myogenní potenciály (angl. *ocular vestibular evoked myogenic potentials*; oVEMP),
- head impulse testing (HIT).

V případě cVEMP zůstává do 50–60 let věku amplituda na stejné úrovni a teprve potom dochází k jejímu poklesu. Práh a latence odpovědi se naopak zvyšují. Odpovědi na oVEMP zůstávají stabilní přibližně do věku 60–80 let a posléze dochází k poklesu amplitudy a ke zvýšení latence odpovědi. Pokud jde o HIT, tak lineární vestibulookulární reflex zůstává stabilní do 70–90 let věku, a to v závislosti na poloze hlavy v rotaci (Ji & Zhai, 2018).

## 2.4.2 Regresní změny muskuloskeletálního systému

Muskuloskeletální systém tvořící výkonnou komponentu posturální kontroly zahrnuje skelet, kosterní svalstvo, chrupavčitou tkáň (kloubní chrupavku, intervertebrální disky a menisky), vazivovou tkáň (šlachy, ligamenta a kloubní pouzdra) a tukovou tkáň. Všechny tyto tkáně společně vytvářejí strukturu, jež dává organismu tvar, umožňuje pohyb, chrání vnitřní orgány, účastní se humorálních dějů, slouží jako zásobárna organických i anorganických látek a podílí se na udržování homeostázy (Boros & Freemont, 2017).

Věkem podmíněné degenerativní změny negativně ovlivňují veškeré funkce muskuloskeletálního systému a hrají významnou roli při rozvoji disability. Jedná se o změny vzhledu a tvaru organismu, a to zejména kvůli ztrátě svalové hmoty, změnám v kostní geometrii a v proporcích a v rozložení tukové tkáně. Další významné změny se týkají pohybu. Konkrétně je porušena pohybová koordinace, snížena rychlost pohybů a svalová síla, zmenšeny rozsahy pohybů v kloubech, snížena flexibilita měkkých tkání a zredukována kapacita muskuloskeletálního systému odolávat zatížení (zejména kvůli zmenšení objemu kostní hmoty a snížení její pevnosti). Redukována je také ochranná funkce pro vnitřní orgány, a to hlavně kvůli zvýšenému riziku kostních zlomenin a zhoršené schopnosti hojení. Věkem podmíněné změny se také týkají reakcí humorální imunity (například změny v reakcích na metabolismus vitamínu D, na parathyroidní hormon, na cytokyny a na pohlavní hormony). Snížené je také ukládání zásobních látek – zejména tukové tkáně, glykogenu, bílkovin a vápníku. Důležitou změnou je i snížená kapacita tkání regenerovat po proběhlých úrazech (Boros & Freemont, 2017; Frontera, 2017).

V následujícím textu budou rozvedeny věkem podmíněné degenerativní změny postihující jednotlivé podsystémy a struktury muskuloskeletálního systému.

### 2.4.2.1 Skelet

Stárnutí se na kosterním systému projevuje ztrátou kostní hmoty (tedy sníženou denzitou), změnami ve tvaru a geometrii kostí, zvýšením podílu tukové složky v kostní



dřeni, sníženou odpovědí na růstový hormon a sníženým ukládáním vápníku (Boros & Freemont, 2017). Snížení kostní denzity se dle závažnosti označuje jako osteopenie nebo osteoporóza. V USA se prevalence osteoporózy u žen nad padesát let pohybuje okolo 10 % (dle konkrétní vyšetřované kosti; Looker et al., 2017). Výskyt osteoporózy a osteopenie výrazně zvyšuje riziko zlomenin. U starších jedinců je riziko zlomenin ještě podněcováno sníženou fyzickou aktivitou jedinců, a tím sníženým mechanickým zatížením kostí, což vede k úbytku kostní hmoty (Frontera et al., 2017).

#### **2.4.2.2. Kosterní svaly**

Obdobně jako kosterní systém, také svalstvo podléhá věkem podmíněným degenerativním změnám. Progresivní ztráta svalové hmoty a funkce kosterních svalů, jež není vyvolána jinou příčinou než stárnutím, se nazývá sarkopenie a patří do skupiny geriatrických syndromů. Sarkopenie je úzce spjata s riziky snížení kvality života, rozvoje disability a smrti a překrývá se se syndromem geriatrické křehkosti (Boros & Freemont, 2017; Frontera, 2017).

První součástí syndromu sarkopenie je tedy ztráta svalové hmoty. Ke ztrátě svalové hmoty projevující se zmenšením objemu kosterních svalů dochází v důsledku atrofie svalových vláken. Autoři Boros a Freemont (2017) ve své přehledové studii uvádějí míru ztráty svalové hmoty 3–8 % za dekádu života probíhající od věku 30 let, přičemž míra ztráty svalů se výrazně zvyšuje po 65. roce života. Svalová atrofie vzniká kvůli ztrátě myofibrilárního proteinu a kvůli jeho snížené syntéze a více postihuje rychlá svalová vlákna (typ II). Kromě atrofie svalových vláken ke ztrátě svalové hmoty taktéž přispívá snížení počtu svalových vláken. Další dílčí příčinou přispívající ke ztrátě svalové hmoty je porušená funkce satelitních buněk a snižování jejich počtu. Satelitní buňky se podílejí na nápravě porušených svalů, čímž hrají roli v udržování množství svalové hmoty.

Snížení objemu svalové hmoty je doprovázeno nárůstem tukové složky v kosterních svalech, což dále negativně ovlivňuje svalové funkce (Frontera, 2017).

Druhou součástí syndromu sarkopenie je zhoršení svalových funkcí a snížení svalové síly. Ke snížení síly a funkcí svalů dochází ještě ve větším rozsahu než ke ztrátě svalové hmoty a jedná se také o mnohem závažnější problém s významnějšími negativními

důsledky. Ztráta funkce a síly je podmíněna mnoha mechanismy. Klíčovou příčinou je selektivní ztráta rychlých svalových vláken (typ II) kvůli věkem podmíněnému selektivnímu úbytku rychlých motorických neuronů. Výběrová ztráta pouze rychlých motorických neuronů má za následek tzv. sirotčí rychlá svalová vlákna. Ta jsou následně reinervována ze sousedních motorických jednotek a přeměněna na pomalá svalová vlákna (typ I). Tento reparační mechanismus má za následek zhoršení motoriky. Druhou příčinou zhoršení svalových funkcí a síly je věkem podmíněný nárůst vazivové a tukové tkáně. Mezi další příčiny patří změny na úrovni svalových vláken. Jedná se například o defekty mitochondriálních funkcí mající za následek změny metabolismu na úrovni svalových vláken (Boros & Freemont, 2017).

Frontera (2017) ve své přehledové studii shrnuje všechny věkem podmíněné degenerativní změny postihující kosterní svaly (Tabulka 3).

Tabulka 3. Shrnutí věkem podmíněných degenerativních změn kosterních svalů (Frontera, 2017, 708).

FUNKCE / CHARAKTERISTIKA	STAV
Svalová síla	snížení
Svalová hmota	snížení
Kvalita svalové tkáně	nárůst tukové a vazivové složky
Počet svalových vláken	snížení (zejména vláken typu II)
Distribuce typu svalových vláken	nepoměr typů svalových vláken v neprospěch typu II
Specifická síla jednotlivých svalových vláken	snížení
Kvalita kontrakce na úrovni svalového vlákna	porušení
Metabolismus svalů	snížení oxidativní kapacity
Svalové proteiny	degenerativní změny v důsledku biochemických změn
Satelitní buňky	snížení počtu satelitních buněk souvisejících se svalovými vlákny typu II

### **2.4.2.3 Ligamenta a šlachy**

Jak ligamenta, tak šlachy jsou značně zatěžované struktury. Hlavní úlohou šlach je přenos síly generované kosterními svaly na kosti, čímž je umožněn pohyb. Ligamenta zajišťují pasivní stabilitu kloubních spojení (Boros & Freemont, 2017; Frontera, 2017).

Z biochemického a biomechanického hlediska podléhají ligamenta a šlachy obdobným věkem podmíněným degenerativním změnám, jež se u obou typů struktur projevují zvýšeným výskytem zranění u starších věkových skupin. Ke zvýšené incidenci úrazů dochází kvůli změnám mechanických vlastností zapříčiněných řadou biochemických změn. Vlivem stárnutí dochází ke snížené syntéze a koncentraci kolagenu. Dalším důležitým negativním jevem je glykace kolagenu, díky níž se zvětšuje prostor mezi jednotlivými buňkami a snižuje schopnost tkáně udržet vodu (Frontera, 2017).

### **2.4.2.4 Chrupavčitá tkáň**

Pokud jde o tkáň chrupavčitou (součást kloubů a intervertebrálních disků), stárnutí se zde projevuje sníženou hustotou chondrocytů. Také ubývá chondrocytů, jež si zachovaly schopnost replikace. Dalším jevem je redukováná schopnost chondrocytů vytvářet složky extracelulární matrix (např. kolagen). Se zvyšujícím se věkem dochází ve vyšší míře (obdobně jako v případě ligament a šlach) ke glykaci kolagenu, čímž se kolagenová síť stává tužší a méně pružnou. To dále vede k častější incidenci úrazů chrupavčitých částí kloubních spojení (Boros & Freemont, 2017; Frontera, 2017).

## 3 CÍLE VÝZKUMU A HYPOTÉZY

### 3.1 Cíle výzkumu

Hlavním cílem výzkumu bylo ověřit vliv vybraných faktorů na posturální kontrolu a pracovní paměť během provádění duálních úloh.

Dílčí cíle:

1. Ověřit vliv duální úlohy na úroveň obou složek této duální úlohy (vliv na posturální i kognitivní úkol) u různých skupin populace. Z prvního dílčího cíle vychází první a druhá hypotéza (H1 a H2).
2. Ověřit vliv věku na úroveň obou složek duální úlohy (vliv na posturální i kognitivní úkol). Z druhého dílčího cíle vychází třetí a čtvrtá hypotéza (H3 a H4).
3. Ověřit vliv přítomnosti poruch rovnováhy na úroveň obou složek duální úlohy (vliv na posturální i kognitivní úkol). Ze třetího dílčího cíle vychází pátá a šestá hypotéza (H5 a H6).

### 3.2 Hypotézy

V rámci výzkumu bylo stanoveno šest hypotéz. Každá hypotéza byla pro účely statistického ověření rozdělena na několik částí (viz níže). Kritériem pro zamítnutí jednotlivých částí každé hypotézy byla přítomnost poloviny a více statisticky významných rozdílů v COP parametrech.

#### Hypotéza 1:

Není rozdíl v úrovni posturální kontroly hodnocené během duální úlohy a v situaci bez simultánně probíhajícího kognitivního úkolu.

- I. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti:
  - a. U skupiny zdravých mladých jedinců.

- b. U skupiny zdravých aktivních seniorů.
  - c. U skupiny zdravých seniorů z domovů pro seniory.
  - d. U skupiny seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.
- II. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na verbální složku pracovní paměti:
- a. U skupiny mladých zdravých jedinců.
  - b. U skupiny zdravých aktivních seniorů.
  - c. U skupiny zdravých seniorů z domovů pro seniory.
  - d. U skupiny seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.

### **Hypotéza 2:**

Není rozdíl ve výsledku kognitivního úkolu prováděného během duální úlohy a v situaci bez simultánně probíhajícího posturálního úkolu.

- I. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti:
- a. U skupiny zdravých mladých jedinců.
  - b. U skupiny zdravých aktivních seniorů.
  - c. U skupiny zdravých seniorů z domovů pro seniory.
  - d. U skupiny seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.
- II. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na verbální složku pracovní paměti:
- a. U skupiny zdravých mladých jedinců.
  - b. U skupiny zdravých aktivních seniorů při.
  - c. U skupiny zdravých seniorů z domovů pro seniory.
  - d. U skupiny seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.

### **Hypotéza 3:**

Úroveň posturální kontroly hodnocená během duální úlohy není ovlivněna věkem.

- a. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti.
- b. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na verbální složku pracovní paměti.

### **Hypotéza 4:**

Výsledek kognitivního úkolu hodnocený během duální úlohy není ovlivněn věkem.

- a. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti.
- b. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na verbální složku pracovní paměti.

### **Hypotéza 5:**

Úroveň posturální kontroly hodnocená během duální úlohy není ovlivněna přítomností poruch rovnováhy.

- a. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti.
- b. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na verbální složku pracovní paměti.

### **Hypotéza 6:**

Výsledek kognitivního úkolu hodnocený během duální úlohy není ovlivněn přítomností poruch rovnováhy.

- a. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti.
- b. Při použití kognitivního úkolu zaměřeného na verbální složku pracovní paměti.

## 4 METODOLOGICKÝ RÁMEC A METODY

### 4.1 Realizace výzkumu

Získávání dat bylo realizováno na několika místech, a to konkrétně v laboratoři rovnováhy Katedry přírodních věd v kinatropologii Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci, v domově pro seniory SeneCura SeniorCentrum Olomouc, v Domově se zvláštním režimem – Seniorpenzion ve Žďáru nad Sázavou, v Domově s pečovatelskou službou ve Škrdlovicích a v Domově seniorů Prostějov. V případě všech tří domovů pro seniory se jednalo o instituce poskytující pobytovou službu pro seniory, kteří z důvodu věku a nepříznivého zdravotního stavu potřebují pravidelnou pomoc jiné osoby při zajištění svých osobních potřeb.

I když bylo získávání dat prováděno na různých místech, vždy byl kladen důraz na dodržení stejných podmínek pro měření. Měření pokaždé probíhalo dle shodného protokolu a data byla získávána pomocí stejných přístrojů. Pro měření byla vždy volena dostatečně prostorná samostatná místnost s eliminací rušivých vlivů z okolí. Detailnější informace o průběhu měření viz kapitola Průběh měření (kapitola 4.4).

Získávání dat probíhalo v několika termínech. Konkrétně se jednalo o tyto termíny: červen až červenec 2019, říjen až listopad 2019, srpen až září 2020 a září 2022.

Při práci s probandy a při získávání dat byly dodržovány principy etiky výzkumu. Podrobněji viz kapitola Etické aspekty výzkumu (kapitola 4.6).

Praktickou část výzkumu, jež byl součástí disertační práce, lze rozdělit do pěti etap.

V rámci první etapy byla provedena rešerše dostupné literatury týkající se využití duálních úloh pro hodnocení posturální kontroly, a to s cílem definovat první verzi způsobu získávání dat pro pilotní testování. Při rozhodování o podobě celého měření se řešila zejména následující témata: volba posturálních úkolů včetně jejich obtížnosti, délka měřených úseků, počet opakování jednotlivých měření, volba typu a obtížnosti kognitivních úkolů, znění instrukcí a způsob hodnocení úkolů. Také byly vytvořeny instruktážní audionahrávky s cílem co největší unifikace podmínek výzkumu. Podrobněji viz kapitoly Průběh měření (kapitola 4.4) a Metody získávání dat (kapitola 4.3).



Diskutovány byly také inkluzivní a exkluzivní kritéria pro zařazení participantů do jednotlivých výzkumných souborů.

Druhá etapa zahrnovala pilotní měření na několika probandech. Měření již probíhalo srovnatelně s budoucí finální podobou výzkumu (znění instrukcí, pořadí jednotlivých měření, víceméně také podoba posturálních a kognitivních úkolů atd.). Dle zkušeností z pilotního výzkumu byly změněny či upraveny některé posturální úkoly a revidována obtížnost kognitivních úkolů. Náročnost rozhodování o obtížnosti jednotlivých posturálních i kognitivních úkolů spočívala v úpravě obtížnosti tak, aby úlohy byly zvládnutelné pro probandy ze všech výzkumných souborů a zároveň aby úlohy nebyly příliš jednoduché pro skupinu zdravých mladých jedinců. Výstupem druhé etapy tedy byla finální podoba budoucího výzkumu.

V rámci třetí etapy byli získáváni participanté výzkumu. Jejich oslovení bylo realizováno dvěma způsoby. Jedinci žijící mimo instituce byli nejdříve osloveni pomocí e-mailu či telefonicky. Při tomto prvním kontaktu byl vysvětlen účel, průběh a časová náročnost výzkumu. Jedinci, kteří souhlasili se svou účastí ve výzkumu, byli pozváni na měření do laboratoře rovnováhy na Fakultě tělesné kultury. Jedinci žijící v domovech pro seniory se zvláštním režimem a pečovatelskou službou byli osloveni přes kontaktní osobu v dané instituci. Jednalo se vždy o vedoucí pečovatelku či fyzioterapeutku. Tyto kontaktní osoby podaly jedincům základní informace o účelu, průběhu a časové náročnosti výzkumu. Oslovení, již souhlasili se svou účastí ve výzkumu, si následně vybrali z nabízených termínů měření.

Čtvrtá etapa znamenala samotné získávání dat. Měření bylo vždy jednorázové a trvalo cca 60 minut pro každého jedince. Na úvod byly každému participantovi podány podrobné informace o výzkumu a následně byl jedinec požádán o podpis informovaného souhlasu. Jednotlivé části výzkumu jsou podrobně rozebrány v kapitole Průběh měření (kapitola 4.4).

V rámci páté etapy došlo ke zpracování a analýze získaných dat. Podrobně viz kapitola Metody zpracování a analýzy dat (kapitola 4.5).

## 4.2 Výzkumné soubory

Výzkumu se zúčastnilo celkem 85 jedinců, kteří utvářeli čtyři výzkumné soubory:

- zdraví mladí jedinci,
- zdraví aktivní senioři,
- zdraví senioři z domovů pro seniory,
- senioři s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.

Pokud jde o způsob výběru vzorku z populace, byly použity nepravděpodobnostní metody výběru. Konkrétně se jednalo o kvótový záměrný výběr s cílem naplnit všechny čtyři výzkumné soubory potřebným počtem participantů s požadovanými inkluzivními kritérii a dále se záměrem dosažení rovnoměrnému zastoupení mužů a žen v jednotlivých výzkumných skupinách.

První výzkumný soubor byl tvořen zdravými mladými jedinci. Jednalo se o probandy bez jakýchkoliv onemocnění spjatých s poruchami rovnováhy, bez přítomnosti neurologických onemocnění spjatých s poruchami rovnováhy a bez prodělaných operací a závažných úrazů pohybového aparátu během období posledního roku. Soubor sestával celkem z 23 účastníků, z nichž bylo 14 žen a 9 mužů. Věkové rozmezí participantů bylo 21–30 let a věkový průměr činil 24,4 let (SD 2,4).

Soubor zdravých aktivních seniorů byl tvořen seniory žijícími v domácím prostředí, kteří se vyznačovali aktivním životním stylem (projevujícím se účastí v různých volnočasových či neprofesionálních sportovních klubech). Další podmínkou bylo, aby participanté byli bez jakýchkoliv onemocnění spjatých s poruchami rovnováhy, bez přítomnosti neurologických onemocnění spjatých s poruchami rovnováhy a bez prodělaných operací a závažných úrazů pohybového aparátu během období posledního roku. Soubor sestával celkem z 18 účastníků, z nichž bylo 10 žen a 8 mužů. Věkové rozmezí participantů bylo 62–78 let a věkový průměr činil 68,7 let (SD 3,9).

Ve třetím výzkumném souboru byli zařazeni zdraví senioři z domovů pro seniory. Termínem „zdraví“ zde byli myšleni relativně (vzhledem ke svému věku) zdraví jedinci bez jakýchkoliv onemocnění spjatých s poruchami rovnováhy, bez přítomnosti neurologických onemocnění spjatých s poruchami rovnováhy a bez prodělaných operací

a závažných úrazů pohybového aparátu během období posledního roku. Hlavní rozdíl v porovnání s druhým výzkumným souborem byl život v instituci, která zajišťuje asistenci při zvládnání každodenních aktivit. Soubor sestával celkem z 24 účastníků, z nichž bylo 19 žen a 5 mužů. Věkové rozmezí participantů bylo 71–93 let a věkový průměr činil 80,6 let (SD 6,9).

Do čtvrtého výzkumného souboru byli zařazeni senioři s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory. Jednalo se o jedince, kteří trpí poruchou rovnováhy spojenou s výskytem dvou a více pádů během období posledního půl roku. Soubor sestával celkem z 20 účastníků, z nichž bylo 16 žen a 4 muži. Věkové rozmezí participantů bylo 70–93 let a věkový průměr činil 81,8 let (SD 7,2).

Kritéria bránící zařazení do prvního, druhého a třetího výzkumného souboru zahrnovala poruchy rovnováhy, jakákoliv onemocnění spjatá s poruchami rovnováhy, absolvování operace nebo přítomnost závažného stavu na pohybovém aparátu (především v oblasti dolních končetin) během posledního roku, amputace na dolních končetinách, výraznou poruchu kognitivních funkcí, jež by znemožňovala provedení kognitivních úloh (včetně poruchy sluchu) a nesouhlas se zařazením do výzkumu a/nebo nepodepsání informovaného souhlasu.

Kritéria bránící zařazení do čtvrtého výzkumného souboru zahrnovala neschopnost samostatného stoje o úzké bázi po dobu jedné minuty, výraznou poruchu kognitivních funkcí, která by znemožňovala provedení kognitivních úloh (včetně poruchy sluchu), akutní neurologická onemocnění, čerstvé stavy po operaci či po úrazu v oblasti dolních končetin, amputace na dolních končetinách, nesouhlas se zařazením do výzkumu a/nebo nepodepsání informovaného souhlasu.

### **4.3 Metody získávání dat**

Data byla získávána kombinací klinických metod (odběr anamnestických dat, Rombergova zkouška II a tandemový stoj), laboratorních metod (měření na silové plošině) a testových výkonových metod (Brooks Spatial Memory Task, Zapamatování řady slov, Mini-Mental State Examination – MMSE).

Měření na silové plošině a kognitivní úkoly Brooks Spatial Memory Task a Zapamatování řady slov sloužily jako nástroje získávání dat pro řešení hypotéz. Hlavním cílem odběru anamnestických dat, Rombergovy zkoušky II, tandemového stoje a MMSE bylo rozhodování o přijetí jedinců do výzkumu.

#### **4.3.1 Odběr anamnestických dat**

Odběr anamnézy byl doplňkovou metodou získávání dat a sloužil ke dvěma účelům. Prvním účelem anamnézy bylo potvrzení správnosti zařazení daného jedince do výzkumu, a to na základě porovnání získaných anamnestických informací s inkluzivními a exkluzivními kritérii pro přijetí do výzkumu. Druhým přínosem anamnestických dat bylo získání širšího klinického pozadí pro výzkum pomocí informací o jedincově stavu a demografických údajů.

Anamnestická data byla odebírána za pomoci předem sestaveného anamnestického formuláře (Příloha 3), do nějž byly veškeré informace zaznamenávány. Anamnestický formulář byl sestaven speciálně pro účely tohoto výzkumu a obsahoval všechny běžně používané části (Kolář et al., 2009; Velé, 2006) adaptované pro účely tohoto výzkumu.

#### **4.3.2 Úvodní orientační vyšetření**

Úvodní orientační vyšetření sestávalo z klinických zkoušek určených pro rychlé orientační zhodnocení rovnovážných schopností (Rombergova zkouška II a tandemový stoj) a z testu MMSE, jehož účelem bylo zhodnocení úrovně kognitivních funkcí.

Účelem orientačního testování bylo potvrdit vhodnost jedince pro zařazení do výzkumu. Hodnocení obou zkoušek na rovnováhu i testu MMSE probíhalo pouze formou „splnil“ či „nesplnil“ a jejich zvládnutí bylo podmínkou pro účast jedince ve výzkumu.

Orientační vyšetření bylo adaptováno pro jednotlivé výzkumné soubory, a to dle náplně vlastního testování jednotlivých výzkumných souborů. Skupina zdravých mladých jedinců a zdravých aktivních seniorů absolvovala obě klinické zkoušky zaměřené na hodnocení rovnováhy – Rombergovu zkoušku II i tandemový stoj. Obě skupiny seniorů

z domovů pro seniory byly testovány pouze jednodušší z obou zkoušek – tedy Rombergovou zkouškou II. Důvodem byla odlišná náplň vlastního testování, kdy testování seniorů z domovů pro seniory zahrnovalo pouze jednodušší posturální úkoly, které nemají tak vysoké nároky na posturální kontrolu, jako je tandemový stoj či stoj na jedné DK. Skupině zdravých mladých jedinců a zdravých aktivních seniorů naopak nebyl administrován test MMSE sloužící pro orientační vyšetření kognitivních funkcí, jelikož zde nebylo nutné potvrzovat dostatečnou úroveň poznávacích funkcí potřebnou pro absolvování výzkumu.

Testy Rombergova zkouška II (stoj spojný s horními končetinami v 90° flexi) i tandemový stoj probíhaly na pevné podložce. Proband měl za úkol v dané pozici vydržet 60 s.

Testování MMSE (Opavský, 2003) bylo realizováno vsedě a test byl administrován vyšetřující osobou. Jedinec měl za úkol zodpovědět otázky a vyřešit úkoly ve všech pěti částech testu zaměřených na jednotlivé kognitivní funkce. Každá část byla následně ohodnocena příslušným počtem bodů, z nichž vzešlo výsledné skóre. Pro úspěšné absolvování testu, jež znamenalo účast ve výzkumu, bylo nutné získat minimálně 24 bodů.

### **4.3.3 Měření na silové plošině**

Pro měření parametrů COP na kontaktu nohy s podložkou byly použity dvě piezoelektrické plošiny Kistler 9286AA (Kistler Instrumente AG, Winterthur, Švýcarsko) se sběrnou frekvencí 200 Hz. Rozměry každé plošiny byly 600 x 400 x 35 mm. Pro zaznamenání a přenos dat z plošin do počítače bylo využito programu BioWare (verze 5.3.0.7, Kistler Instrumente, Winterthur, Švýcarsko). Získaná data byla nejdříve filtrována obousměrným Butterworth filtrem čtvrtého řádu s nízkofrekvenční propustí s hraniční frekvencí 10 Hz. Ze souřadnic COP byly posléze vypočítány parametry COP, na jejichž základě byla hodnocena úroveň posturální kontroly. Jednalo se o následující parametry:

- směrodatná odchylka průměrné výchylky COP v ML směru,
- směrodatná odchylka průměrné výchylky COP v AP směru,
- průměrná rychlost pohybu COP v ML směru,

- průměrná rychlost pohybu COP v AP směru,
- průměrná rychlost pohybu COP.

Zpracování dat bylo realizováno pomocí programového prostředí Matlab (R2020a, MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, USA).

Posturální kontrola byla hodnocena v několika odlišných posturálně náročných podmínkách (dále posturální úkoly) lišících se od sebe svou obtížností:

1. Stoj o široké bázi: Klidový stoj s chodidly paralelně (bez rotace) a ve vzdálenosti 15 cm mezi jejich vnitřními hranami. Horní končetiny (HKK) spuštěné volně podél těla (Scoppa et al., 2017).
2. Stoj o úzké bázi: Klidový stoj spojný s chodidly bez rotace. HKK spuštěné volně podél těla (Scoppa et al., 2017).
3. Tandemový stoj: Stoj s chodidly paralelně za sebou, kdy pata nohy umístěné vpředu se dotýkala špičky nohy umístěné vzadu. Stoj probíhal bez kontaktu kolenních kloubů obou DKK. HKK byly spuštěné volně podél těla. Rozhodnutí o umístění obou chodidel byla ponechána na každém participantovi. Podmínkou však bylo, aby zvolená preference byla zachována ve všech testovacích situacích.
4. Stoj na jedné DK: Stoj na jedné DK se zvednutou druhou DK nad podložku s cca 30° flexí v kyčelním kloubu, s 90° flexí v kloubu kolenním a s bércelem a akrem volně spuštěnými dolů. HKK byly spuštěné volně podél těla. Volba DK, na níž bude proband stát během měřeného úseku, byla ponechána na každém participantovi. Podmínkou však bylo, aby zvolená preference byla zachována ve všech testovacích situacích.

Dle typu posturálního úkolu bylo voleno měření buď na jedné nebo na dvou silových plošinách.

Celková délka měření jednoho posturálního úkolu činila 30 s. Tato délka byla zvolena na základě rešerše literatury, kdy třicetisekundový interval se dle dostupné literatury zdá jako vhodný kompromis vzhledem k měření posturální kontroly (mimo jiné) během duálních úloh (viz například Ruhe et al., 2010; Scoppa et al., 2013).

Měření probíhalo u všech probandů naboso (dle doporučení Kapteyn et al., 1983), při stoji na pevné podložce a vždy se zrakovou kontrolou.

Ve vzdálenosti 1,5 m před participantem cca ve výšce jeho očí byla umístěna bílá plocha s černou značkou uprostřed, jež sloužila jako fixační bod. Černá značka měla podobu plného čtverce o velikosti 10 x 10 cm. (Dault et al., 2001; Huxhold et al., 2006; Maylor & Wing, 1996).

Každá testovací situace byla probandem absolvována vždy dvakrát a z obou pokusů byl při zpracování dat vypočítán aritmetický průměr.

Před samotným započítím měření byly probandovi podány instrukce o správném provedení úkolu. Testovaný měl mít během měřeného úseku HKK spuštěné volně podél těla, bylo mu doporučeno nezadržovat dech a nemluvit (na všechny dotazy se proband mohl zeptat mimo měřené úseky). Finální instrukce před započítím měření zněla: „*Snažte se stát co nejklidněji*“.

#### **4.3.4 Kognitivní úkoly**

Druhým prostředkem získávání dat byly testové výkonové metody – konkrétně dva kognitivní úkoly zaměřené na paměť. Úkoly byly zvoleny tak, aby první z nich zatěžoval vizuálně prostorovou složku pracovní paměti (Brooks Spatial Memory Task) a druhý verbální složku pracovní paměti (Zapamatování řady slov).

Oba kognitivní úkoly byly participanty absolvovány jednak v situaci jednoduchých úkolů (bez dalšího úkolu), jednak během měření posturální kontroly v posturálně náročných situacích (při posturálních úkolech) – tzn. v rámci duálních úkolů. Kognitivní úkoly byly pro všechny výzkumné soubory stejné, což znamená, že všechny čtyři skupiny probandů vždy absolvovaly oba typy kognitivních úkolů.

#### **Brooks Spatial Memory Task**

Úloha Brooks Spatial Memory Task je modifikací úlohy použité v sérii experimentů zkoumajících vzájemnou negativní interferenci čtení (verbálních procesů) a vizualizace (imaginace), a to konkrétně ve studii Brookse (1967). Tento test byl o několik let později použit i ve studiích s podobným zaměřením, jako má tato disertační práce – tedy ve

výzkumech zkoumajících kognitivní duální úkoly. Jedná se například o studie autorů Kerr et al. (1985), Maylor et al. (2001) a Maylor a Wing (1996).

Jde o úlohu testující úroveň vizuálně prostorové složky pracovní paměti. Provedení úlohy tedy vyžaduje účast kognitivních procesů souvisejících s prostorovou pamětí. Pro podporu zapojení prostorové paměti byl každý participant v rámci vysvětlení průběhu úlohy nabádán, aby používal spíše prostorovou paměť než paměť verbální – tedy aby si veškeré informace, jež uslyší, snažil představit.

Úkolem participanta bylo poslechnout si nahrávku s instrukcemi o poloze číslic v tabulce o 4 x 4 políčkách (Obrázek 8). Proband postupně vyslechl informace o pozicích osmi číslic v tabulce včetně čísla jedna, které nebylo součástí hodnocení. Hodnocené číslice byly 2–7. Jednička byla v tabulce již předtištěná, a to vždy v druhém řádku a druhém sloupci. Z tohoto důvodu nebyla součástí skórování. Číslice byly za sebou umístěny vždy tak, aby lokalizace následující číslice navazovala na umístění té předchozí (aby číslice utvořily „hada“).

	1		

Obrázek 8. Odpovědní arch pro kognitivní úkol Brooks Spatial Memory Task.

Instrukce podané probandovi měly následující podobu:

- Úvodní, vždy stejná instrukce zněla: „*První číslice, kterou umístíte do mřížky, je jedna. Číslo jedna leží ve druhém řádku a druhém sloupci.*“
- Následující instrukce měla tuto podobu: „*Do dalšího čtverce vpravo / vlevo / nahoru / dolů umístěte dvojku.*“
- Následovalo dalších šest instrukcí.



Pro každého probanda byla náhodně zvolena jedna z předem připravených verzí 30sekundových audionahrávek, jež byly sice rozdílné, avšak obtížnostně srovnatelné. Nahrávky se mezi sebou odlišovaly pozicí čísel, což v praxi znamená, že se lišily různou kombinací slov „*vpravo / vlevo / nahoru / dolů*“.

Tabulka (odpovědní arch) nebyla během podávání informací k dispozici, jedinec si tak měl diktované číslice včetně jejich polohy v tabulce představovat. Tabulka (včetně předtištěné číslice jedna) byla testovanému jedinci krátce ukázána před samotným započítáním úkolu (před spuštěním nahrávky). K doplnění číslic do odpovědního archu (do mřížky o 4 x 4 políčkách) byl participant vyzván bezprostředně po ukončení instrukcí týkajících se pozic čísel v tabulce. Arch byl testovaným jedincem vždy vyplňován vsedě u stolku.

Testování pomocí Brooks Spatial Memory Task probíhalo ve dvou hlavních odlišných situacích:

1. V situaci jednoduchého úkolu vsedě na židli.
2. V situaci duálního úkolu ve stoji na silové plošině v jedné z posturálně náročných situací.

Brooks Spatial Memory Task byl vyhodnocen pomocí bodového rozmezí 0–7 bodů. Hodnocena byla dvě kritéria:

- Absolutní poloha číslice – správnost umístění číslice v tabulce (správná odpověď za 0,5 bodu).
- Relativní poloha číslice – splnění instrukce „*vpravo / vlevo / nahoru / dolů*“ vzhledem k předchozí číslici (správná odpověď za 0,5 bodu).

Každá z číslic tedy mohla být ohodnocena maximálně jedním bodem, a to za podmínky správného absolutního i relativního umístění v tabulce.

Příklad celého znění instrukcí při testování včetně bezchybného doplnění všech číslic do odpovědního archu (Obrázek 9):

- „*Představte si mřížku o čtyřech sloupcích a čtyřech řádcích.*

- První číslice, kterou umístíte do mřížky, je jedna. Číslo jedna leží ve druhém řádku a druhém sloupci.
- Do dalšího čtverce dolů dejte dva.
- Do dalšího čtverce vpravo dejte tři.
- Do dalšího čtverce nahoru dejte čtyři.
- Do dalšího čtverce nahoru dejte pět.
- Do dalšího čtverce vlevo dejte šest.
- Do dalšího čtverce vlevo dejte sedm.
- Do dalšího čtverce dolů dejte osm.
- Konec měření.
- Prosím sestupte z plošiny a zaznamenejte čísla do archu.“

7	6	5	
8	1	4	
	2	3	

Obrázek 9. Ukázka správných odpovědí zaznamenaných do odpovědního archu.

### Zapamatování řady slov

Zapamatování řady slov patří k paměťovým úlohám testujícím úroveň verbální složky pracovní paměti. Provedení tedy nevyžaduje účast kognitivních procesů souvisejících s prostorovou pamětí. Pro podpoření zapojení verbální paměti byl každý participant v rámci vysvětlení průběhu úlohy nabádán, aby používal spíše verbální paměť než paměť vizuálně prostorovou. Převáděno do praxe, jedinec dostal instrukce, aby si tentokrát nic nepředstavoval a aby se jen snažil zapamatovat si to, co slyší.

Kognitivní úkol Zapamatování řady slov byl sestaven tak, aby odpovídal požadovanému typu testování pro daný výzkum. Pro testování byl totiž nutný jednoduchý

kognitivní úkol zatěžující verbální složku paměti, u něhož je ale možné podávat odpovědi až po ukončení měření na silové plošině. To znamená úkol, kde není nutné odpovídat hned, ale až posléze. Důvodem takového požadavku bylo vyhnutí se zkreslení měření posturální kontroly mluvením (vliv artikulace a změny dechového stereotypu) probanda během měřeného úseku.

Úkol Zapamatování řady slov sestával z řady šesti adjektiv. Množství adjektiv bylo zvoleno na základě pilotního měření. Obdobně jako u předchozího kognitivního úkolu bylo utvořeno několik různých verzí řady adjektiv, jež byly následně namluveny, a vznikly tak audionahrávky. Jednotlivé varianty řady adjektiv byly rozdílné, avšak obtížnostně srovnatelné. Nahrávky se mezi sebou odlišovaly volbou různých adjektiv. Adjektiva byla do šestislovných řad volena s respektováním rovnoměrného výskytu slov o různé délce (resp. různém počtu slabik) v jednotlivých řadách. Snahou bylo také volit přídavná jména tak, aby mezi sebou zvolená slova nevzbuzovala vzájemné asociace. Příklad jedné z variant řady šesti adjektiv je uvedena zde: „*krásný, zelený, mladý, voňavý, hořký, hedvábný*“.

Kognitivní úkol měl následující průběh. Participantovi byla puštěna 30sekundová nahrávka obsahující dvakrát zopakovanou řadu šesti přídavných jmen. K zapsání zapamatovaných slov ve správném pořadí byl participant vyzván bezprostředně po druhém zopakování řady adjektiv. Odpověď byla testovaným jedincem vždy vyplňována vsedě u stolku.

Testování pomocí kognitivního úkolu Zapamatování řady slov probíhalo ve dvou hlavních odlišných situacích:

1. V situaci jednoduchého úkolu (single task) vsedě na židli.
2. V situaci duálního úkolu ve stoji na silové plošině v jedné z posturálně náročných situací.

Zapamatování řady slov bylo vyhodnoceno pomocí bodového rozmezí 0–6 bodů. Hodnocena byla dvě kritéria:

- Správné slovo – příslušné slovo bylo obsaženo v diktované šestislovné řadě (správná odpověď za 0,5 bodu).

- Správné pořadí slova – příslušené slovo bylo zapsáno ve správném pořadí (správná odpověď za 0,5 bodu).

Každé ze slov tedy mohlo být ohodnoceno maximálně jedním bodem, a to za podmínky správného slova i jeho pořadí. Maximální možné skóre tedy činilo šest bodů.

Příklad celého znění instrukcí při testování:

- *„Nyní zazní přídavná jména poprvé.*
- *Veselý, bystrý, okatý, tuhý, kovový, mléčný.*
- *Nyní zazní přídavná jména podruhé.*
- *Veselý, bystrý, okatý, tuhý, kovový, mléčný.*
- *Konec měření.*
- *Prosím sestupte z plošiny a zaznamenejte slova do archu.“*

#### 4.4 Průběh měření

Všichni jedinci zařazení do výzkumu podstoupili jednorázové, 60 minut dlouhé vyšetření sestávající z několika částí. Průběh měření byl pro všechny participanty jednotný a sestával z následujících, po sobě jdoucích kroků:

1. Instruktažní část a podpis informovaného souhlasu.
2. Odběr anamnestických dat a orientační vyšetření.
3. Testování posturálních úkolů:
  - Podání instrukcí a nácvik posturálních úkolů.
  - Testování posturálních úkolů na silové plošině.
4. Testování kognitivního úkolu Brooks' Spatial Memory Task:
  - Podání instrukcí a nácvik kognitivního úkolu.
  - Testování kognitivního úkolu (Brooks' Spatial Memory Task).
5. Testování duálních úloh – první část (jednotlivé posturální úkoly v kombinaci s kognitivním úkolem Brooks' Spatial Memory Task).
6. Pauza na rekonvalescenci.
7. Testování kognitivního úkolu Zapamatování řady slov:

- Podání instrukcí a nácvik kognitivního úkolu.
  - Testování kognitivního úkolu (Zapamatování řady slov).
8. Testování duálních úloh – druhá část (jednotlivé posturální úkoly v kombinaci s kognitivním úkolem Zapamatování řady slov).
  9. Závěrečná část.

#### **4.4.1 Instruktažní část**

Před začátkem celého vyšetření dostal každý účastník informace o povaze a účelu výzkumu a byl následně požádán o podpis informovaného souhlasu (Příloha 2). Všem jedincům byly dále poskytnuty podrobné informace o průběhu vyšetření.

#### **4.4.2 Anamnéza a orientační vyšetření**

Na úvod celého vyšetření proběhlo odebrání anamnestických dat a úvodní orientační vyšetření rovnováhy a kognitivních funkcí. Obě metody získávání dat jsou podrobněji rozebrány v kapitole Metody získávání dat (kapitola 4.3).

#### **4.4.3 Zácvik před testováním**

Zácvik před vlastním testováním se vždy skládal z těchto částí:

- podání instrukcí o daném úkolu,
- názorné předvedení úkolu výzkumníkem,
- praktické vyzkoušení daného úkolu probandem.

Před každou měřenou testovou situací (obsahující úkol, se kterým se participant setkal poprvé v rámci celého vyšetření) vždy proběhl jeden cvičný pokus. Cvičný pokus svým rozsahem a formou plně neodpovídal testovací situaci, která sloužila k získávání dat. Zácvik obsahoval vyzkoušení jen jednotlivých komponent duálních úkolů – tedy samostatný nácvik jednotlivých posturálních i kognitivních úkolů. Všechny úkoly byly pro

cvičné situace zkráceny, a to jednak z důvodu snížení rizika vzniku únavy, jednak s cílem omezit vliv učení testovaného jedince na výsledky.

### **Nácvik posturálních úkolů pro měření rovnováhy na silové plošině**

Při nácviku posturálních úkolů pro měření rovnováhy na silové plošině byly participantovi nejdříve slovně vysvětleny a názorně předvedeny všechny pro něj relevantní posturální úkoly.

**Instrukce** zahrnovaly vysvětlení, jakým způsobem zaujmout posturálně náročné pozice, a dále zásady při samotném měření. Všechny relevantní posturální úkoly si následně jedinec **vyzkoušel**, a to ve zkrácené délce (20 s pro každý úkol) oproti vlastnímu testování (30 s pro každý úkol).

### **Nácvik kognitivního úkolu Brooks Spatial Memory Task**

Nácvik kognitivního úkolu Brooks Spatial Memory Task proběhl na příkladu pěti instrukcí o poloze číslic v tabulce. Cvičný úkol byl tedy zredukovaný ve srovnání s vlastním testováním skládajícím se z osmi instrukcí. V případě cvičného pokusu byly instrukce diktovány výzkumníkem, což bylo rozdílné oproti měřenému testování, kde veškeré instrukce o poloze čísel v tabulce byly pouštěny z audionahrávky. V rámci nácviku byla dále ověřena dostatečná hlasitost nahrávky a proband byl dotázán, zdali je pro něj nahrávka dobře srozumitelná. Nácvik probíhal vsedě na židli, tedy za situace bez simultánně prováděného posturálního úkolu.

### **Nácvik kognitivního úkolu Zapamatování řady slov**

Nácvik kognitivního úkolu Zapamatování řady slov se uskutečnil na příkladu čtyř adjektiv. Počet slov k zapamatování byl tedy oproti vlastnímu testování snížen, kdy vlastní testování sestávalo ze šesti adjektiv. V případě cvičného pokusu byly instrukce, obdobně jako u nácviku prvního kognitivního úkolu, diktovány výzkumníkem, což bylo rozdílné ve

srovnání s měřeným testováním, u nějž byla adjektiva k zapamatování pouštěna z audionahrávky. Návčik probíhal vsedě na židli, tedy za situace bez simultánně prováděného posturálního úkolu.

#### **4.4.4 Vlastní testování**

Testování zahrnovalo dva základní typy testovacích situací, a to jednoduché úlohy bez simultánně prováděného úkolu a kognitivní duální úlohy (angl. *dual task*), u nichž jedinec řešil dva úkoly současně (posturální a kognitivní úkol).

V rámci celého výzkumu bylo měřeno celkem 14 testovacích situací zahrnujících jak jednoduché úkoly, tak kognitivní duální úlohy, přičemž ale ne všichni probandi absolvovali všechny testovací situace. Množství a charakter testovacích situací byly odlišné pro jednotlivé výzkumné soubory – Tabulka 4, Tabulka 5 a Tabulka 6. Soubory zdravých mladých jedinců a zdravých aktivních seniorů absolvovaly 11 testovacích situací. Oba soubory seniorů z domovů pro seniory absolvovaly pouze 8 testovacích situací. K adaptaci balíku testovacích úloh pro jednotlivé výzkumné soubory bylo přistoupeno z důvodu výrazně odlišných fyzických schopností jednotlivých souborů, kdy některé posturální úkoly se v pilotním testování ukázaly jako nezvladatelné zejména pro participanty z domovů pro seniory, a naopak stoj o široké bázi se ukázal jako nevhodný (kvůli své přílišné jednoduchosti) pro skupinu zdravých mladých jedinců.

Tabulka 4. Přehled testovacích situací pro výzkumnou skupinu zdravých mladých jedinců.

POSTURÁLNÍ ÚKOL	Bez posturálního úkolu (sed na židli)	Stoj o úzké bázi	Tandemový stoj	Stoj na jedné DK
KOGNITIVNÍ ÚKOL				
Bez kognitivního úkolu	---	<b>1. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení rovnováhy.	<b>2. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení rovnováhy.	<b>3. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení rovnováhy.
Brooks Spatial Memory Task	<b>4. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení kognitivního úkolu náročného na prostorovou paměť.	<b>5. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>6. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>7. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.
Zapamatování řady slov	<b>8. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení kognitivního úkolu náročného na verbální paměť.	<b>9. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>10. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>11. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.

Legenda: DK – dolní končetina; TS – testovací situace.

Tabulka 5. Přehled testovacích situací pro výzkumnou skupinu zdravých aktivních seniorů.

POSTURÁLNÍ ÚKOL	Bez posturálního úkolu (sed na židli)	Stoj o široké bázi	Stoj o úzké bázi	Tandemový stoj
KOGNITIVNÍ ÚKOL				
Bez kognitivního úkolu	---	<b>1. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení rovnováhy.	<b>2. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení rovnováhy.	<b>3. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení rovnováhy.
Brooks Spatial Memory Task	<b>4. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení kognitivního úkolu náročného na prostorovou paměť.	<b>5. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>6. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>7. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.
Zapamatování řady slov	<b>8. TS: SINGLE TASK:</b> Hodnocení kognitivního úkolu náročného na verbální paměť.	<b>9. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>10. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.	<b>11. TS: DUAL TASK:</b> Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.

Legenda: TS – testovací situace.



Tabulka 6. Přehled testovacích situací pro výzkumnou skupinu zdravých seniorů z domovů pro seniory a pro výzkumnou skupinu seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.

POSTURÁLNÍ ÚKOL	Bez posturálního úkolu (sed na židli)	Stoj o široké bázi	Stoj o úzké bázi
KOGNITIVNÍ ÚKOL			
Bez kognitivního úkolu	---	<i>1. TS: SINGLE TASK: Hodnocení rovnováhy.</i>	<i>2. TS: SINGLE TASK: Hodnocení rovnováhy.</i>
Brooks Spatial Memory Task	<i>3. TS: SINGLE TASK: Hodnocení kognitivního úkolu náročného na prostorovou paměť.</i>	<i>4. TS: DUAL TASK: Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.</i>	<i>5. TS: DUAL TASK: Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.</i>
Zapamatování řady slov	<i>6. TS: SINGLE TASK: Hodnocení kognitivního úkolu náročného na verbální paměť.</i>	<i>7. TS: DUAL TASK: Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.</i>	<i>8. TS: DUAL TASK: Hodnocení rovnováhy a kognitivního úkolu prováděných simultánně.</i>

Legenda: TS – testovací situace.

## 4.5 Metody zpracování a analýzy dat

Nejprve byly pomocí deskriptivní statistiky popsány vlastnosti výzkumných souborů – ukazatele centrální tendence a míry variability.

Následovala statistika inferenční, jejímž účelem bylo ověřit platnost stanovených hypotéz. Konkrétně byly použity tyto statistické testy: Wilcoxonův párový test pro ověření H1 a H2, Mann-Whitneyův U-test a Kruskal-Wallisův test pro H3 a H4 a Kruskal-Wallisův test pro H5 a H6. Ve všech případech se jednalo o neparametrické testy. K výběru neparametrických metod bylo přistoupeno z důvodu nedodržení podmínky normálního rozložení (dle Shapirova-Wilkova testu) u poměrně malých rozsahů souborů. Veškeré statistické testování probíhalo na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Pro statistické zpracování dat byl využit software STATISTICA (verze 12.0, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Při popisu proměnných a výběru vhodných statistických testů bylo čerpáno z publikace Dostála (2016).

## 4.6 Etické aspekty výzkumu

Výzkum prováděný v rámci realizace disertační práce byl schválen Etickou komisí FTK UP (Příloha 1).

Všichni účastníci výzkumu vstoupili do výzkumu dobrovolně a taktéž z něj měli možnost v jakékoliv fázi svobodně vystoupit, o čemž byli předem informováni. Všichni participanti byli taktéž obeznámeni s účelem, povahou a průběhem výzkumu. Účastníci byli ujištěni o tom, že je výzkum anonymní, získaná data nebudou spojována s jejich jmény a bude zaručena ochrana veškerých získaných dat a údajů.

Ochrana veškerých dat a údajů před zneužitím je zajištěna v souladu se zákonem č. 101/2000 Sb. Poskytované údaje a zjištěné výsledky budou sloužit pouze pro účely výzkumů spojených s realizací jedné disertační práce a dvou diplomových prací a nebudou použity jinak než k účelům daných výzkumů a k vědeckým výstupům s nimi spjatým.

Jako potvrzení o dostatečné informovanosti participantů a jejich souhlasu s podmínkami výzkumu slouží písemný informovaný souhlas (Příloha 2), jenž každý účastník výzkumu vždy podepsal před samotným začátkem měření. Podpis informovaného souhlasu představoval jednu z podmínek pro zařazení jedince do jednoho z výzkumných souborů.

Součástí výzkumu nebyly žádné invazivní metody a taktéž nebyly použity přístroje vyžadující bezpečnostní certifikáty. Realizace výzkumu nebyla spojena s žádnými významnými riziky, a to ani pro testované jedince, ani pro výzkumníky. Potenciálním rizikem mohl být pád participanta během měření na silové plošině. Zmíněné riziko bylo eliminováno tím, že měření podstoupili pouze participanti, kteří dané posturální úkoly zvládali. Každý jedinec podstoupil vstupní testování, během něhož byla orientačním testem vyšetřena kvalita jeho rovnovážných schopností. Do výzkumu pak byli zařazeni pouze ti jedinci, kteří tento test zvládli. Všichni probandi navíc byli před samotným začátkem měření instruováni o jeho průběhu a náležitostech. Participanti byli nabádáni, aby test okamžitě ukončili, pokud se nebudou cítit dobře nebo budou mít pocit ztráty rovnováhy. Samozřejmostí byla přítomnost výzkumníka během celého měření, a to

v bezprostřední blízkosti testovaného jedince. Další eliminací úrazu byla prostorná místnost vybavená (popř. upravená) tak, aby se snížilo riziko úrazu.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Vliv duální úlohy na úroveň posturální kontroly

Kapitola obsahuje výsledky k H1: *Není rozdíl v úrovni posturální kontroly hodnocené během duální úlohy a v situaci bez simultánně probíhajícího kognitivního úkolu.*

H1 je posuzována zvláště pro oba typy kognitivních úkolů a v rámci nich pro každý ze čtyř výzkumných souborů.

#### Výsledky pro soubor zdravých mladých jedinců (ZMJ)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor ZMJ jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor ZMJ.

Posturální úkol	Parametry	JÚ			DÚ BSMT			DÚ ZŘS			JÚ x DÚ BSMT	JÚ x DÚ ZŘS
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p
Stoj o úzké bázi	Sway ML	4,86	4,67	5,72	4,36	4,14	4,98	4,40	4,21	5,01	<b>0,001</b>	<b>0,013</b>
	Sway AP	4,89	4,37	5,89	4,69	4,20	5,40	4,44	4,17	5,18	0,523	0,274
	V ML	11,46	10,61	11,90	10,62	9,70	11,31	11,59	10,34	12,12	0,064	0,903
	V AP	9,25	8,42	9,49	8,22	7,67	8,88	8,40	7,86	9,14	<b>0,004</b>	<b>0,042</b>
	V	14,82	13,66	15,17	13,81	12,49	14,34	14,16	13,14	15,14	<b>0,039</b>	0,212
Tandemový stoj	Sway ML	6,03	5,80	6,66	5,84	5,32	6,31	5,67	5,11	5,91	<b>0,016</b>	<b>&lt;0,001</b>
	Sway AP	5,59	5,05	6,63	4,89	4,18	5,51	5,33	4,81	6,15	0,068	0,627
	V ML	19,66	18,66	21,53	20,40	18,92	22,30	21,58	19,17	22,92	0,330	0,064
	V AP	18,59	17,76	22,21	16,97	16,55	20,92	17,71	16,72	23,02	<b>0,007</b>	0,855
	V	28,28	26,25	30,80	27,43	25,86	30,36	27,95	25,93	32,47	0,563	0,212
Stoj na jedné DK	Sway ML	5,91	5,63	6,40	5,34	5,19	6,10	5,66	5,28	6,11	0,064	0,068
	Sway AP	7,15	6,71	7,93	6,52	6,13	7,64	6,64	6,27	7,79	0,153	0,503
	V ML	29,27	27,81	34,53	27,11	25,31	32,82	28,35	26,04	33,54	<b>0,036</b>	0,181
	V AP	23,47	22,35	26,84	21,99	20,57	25,28	22,19	20,49	26,13	<b>0,015</b>	0,191
	V	37,38	35,92	43,68	35,70	33,11	41,34	37,05	33,46	42,46	0,068	0,162

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

Při porovnání parametrů COP naměřených během jednoduchých úloh s parametry COP získanými v situaci obou duálních úloh je zřejmé snížení hodnot parametrů COP (způsobené přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu), a to ve všech testovacích situacích a u všech parametrů COP (až na tři výjimky).

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující jednotlivé posturální úkoly s Brooks Spatial Memory Task (zaměřeným na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti) jsou statisticky významné rozdíly přítomny u všech testovacích situací, ale vždy jen u několika parametrů COP. V případě parametru pro rychlost V AP byl signifikantní rozdíl přítomen v případě všech tří posturálně náročných situací.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující jednotlivé posturální úkoly se Zapamatováním řady slov (zaměřeným na verbální složku pracovní paměti) je statisticky významný rozdíl přítomen pouze ve třech případech, a to u parametrů sway ML a V AP u stoje o úzké bázi a u parametru sway ML v případě tandemového stoje.

### **Výsledky pro soubor zdravých aktivních seniorů (ZAS)**

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor ZAS jsou uvedeny v Tabulce 8.

Při porovnání parametrů COP naměřených během jednoduchých úloh s parametry COP získanými v situaci obou duálních úloh je u části srovnání patrné snížení hodnot parametrů COP (způsobené přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu) a u části srovnání naopak zvýšení hodnot parametrů COP.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující jednotlivé posturální úkoly s Brooks Spatial Memory Task (zaměřeným na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti) je snížení hodnot parametrů COP (přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu) zřejmé u stoje o široké bázi. U této testovací situace nabývají rozdíly statistické významnosti, a to u tří parametrů – V ML, V AP, V. V případě dalších dvou testovacích situací (stoj o úzké bázi a tandemový stoj) jsou výsledky různorodé. U poloviny srovnání je patrné snížení a u poloviny zvýšení hodnot parametrů COP. V případě stoje o úzké bázi je přítomen pouze jeden signifikantní rozdíl, a to u parametru

sway ML. U tandemového stoje není statisticky významný rozdíl u žádného parametru COP.

Tabulka 8. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor ZAS.

Posturální úkol	Parametry	JÚ			DÚ BSMT			DÚ ZŘS			JÚ x DÚ BSMT	JÚ x DÚ ZŘS
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p
Stoj o široké bázi	Sway ML	3,18	2,68	3,59	2,71	2,49	3,25	3,23	2,71	3,60	0,199	0,948
	Sway AP	5,13	4,33	5,71	4,49	3,88	5,03	4,79	4,33	5,59	0,058	0,744
	V ML	8,80	7,43	10,64	6,80	6,05	8,04	7,12	6,81	9,49	<b>0,006</b>	0,248
	V AP	10,74	9,53	12,70	9,54	8,61	11,97	10,04	9,08	13,34	<b>0,025</b>	0,845
	V	14,02	12,50	16,49	11,80	10,84	14,36	12,01	11,56	16,38	<b>0,012</b>	0,372
Stoj o úzké bázi	Sway ML	6,17	5,51	6,99	5,41	4,84	5,95	5,66	5,08	6,37	<b>0,006</b>	<b>0,035</b>
	Sway AP	6,07	5,30	7,20	5,27	4,79	5,97	5,86	5,07	6,80	0,053	0,372
	V ML	16,37	15,39	20,69	17,01	14,63	21,05	19,08	16,20	21,79	0,647	0,215
	V AP	12,29	11,45	17,57	12,26	10,92	15,65	12,85	11,60	16,98	0,133	0,845
	V	20,52	19,30	27,19	21,40	18,44	26,22	23,97	20,16	27,61	0,327	0,327
Tandemový stoj	Sway ML	9,11	8,09	9,70	8,41	7,56	9,34	8,83	7,63	9,59	0,184	0,372
	Sway AP	7,42	7,09	10,54	7,75	5,98	8,83	8,18	5,99	11,68	0,145	0,711
	V ML	39,18	36,31	48,58	42,93	37,03	49,90	43,82	38,75	52,95	0,396	0,094
	V AP	37,13	32,24	45,01	36,86	29,88	49,01	32,56	30,76	57,31	0,948	0,948
	V	55,68	48,99	66,17	55,83	48,56	70,16	55,73	51,67	78,72	0,472	0,327

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující jednotlivé posturální úkoly se Zapamatováním řady slov (zaměřeným na verbální složku pracovní paměti) je snížení hodnot parametrů COP (přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu) zřejmé u stoje o široké bázi (až na jednu výjimku – sway ML). V případě dalších dvou testovacích situací (stoj o úzké bázi a tandemový stoj) se vyskytuje statisticky významný rozdíl pouze u parametru sway ML u stoje o úzké bázi.

## Výsledky pro soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor ZS-DD jsou uvedeny v Tabulce 9.

Tabulka 9. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor ZS-DD.

Posturální úkol	Parametry	JÚ			DÚ BSMT			DÚ ZŘS			JÚ x DÚ BSMT	JÚ x DÚ ZŘS
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p
Stoj o široké bázi	Sway ML	2,57	2,29	3,55	3,00	2,48	5,03	2,97	2,56	3,74	0,236	0,274
	Sway AP	4,20	3,84	4,81	3,79	3,51	5,02	4,04	3,76	4,68	0,094	0,394
	V ML	6,46	5,73	8,50	6,39	4,95	9,58	6,72	5,33	8,42	0,976	0,903
	V AP	13,67	11,94	17,33	12,27	10,43	15,70	12,65	10,87	15,98	0,212	0,089
	V	15,62	13,43	19,31	13,66	11,72	18,50	14,27	12,33	18,08	0,447	0,260
Stoj o úzké bázi	Sway ML	5,86	5,14	6,43	5,22	4,27	5,89	5,42	4,78	5,98	0,068	0,274
	Sway AP	4,70	4,48	5,35	4,18	4,01	4,76	4,60	4,40	5,54	<b>0,005</b>	0,927
	V ML	15,12	13,19	17,98	11,98	11,03	15,96	13,66	11,57	16,25	<b>0,016</b>	0,089
	V AP	16,47	15,38	23,05	15,15	12,79	18,37	16,69	14,20	19,73	<b>0,015</b>	0,121
	V	23,88	20,98	29,27	18,96	17,73	24,30	22,21	19,02	25,53	<b>0,007</b>	0,101

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

Při porovnání parametrů COP naměřených během jednoduchých úloh s parametry COP získanými v situaci obou duálních úloh je zřejmé snížení hodnot parametrů COP (způsobené přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu) u většiny testovacích situací a u většiny parametrů COP.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující oba posturální úkoly s Brooks Spatial Memory Task (zaměřeným na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti) je snížení hodnot (způsobené přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu) zřejmé u všech parametrů COP u obou testovacích situací – u kombinace se stojem o široké bázi i u kombinace se stojem o úzké bázi. V případě stoje o úzké bázi jsou (kromě sway ML) všechny rozdíly statisticky významné.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující oba posturální úkoly se Zapamatováním řady slov (zaměřeným na verbální složku pracovní paměti) převažuje u většiny parametrů COP u obou testovacích situací snížení hodnot (přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu). V tomto případě se nevyskytují žádné statisticky významné rozdíly.

## Výsledky pro soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory (PS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor PS-DD jsou uvedeny v Tabulce 10.

Tabulka 10. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor PS-DD.

Posturální úkol	Parametry	JÚ			DÚ BSMT			DÚ ZŘS			JÚ x	JÚ x
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	DÚ BSMT	DÚ ZŘS
Stoj o široké bázi	Sway ML	2,66	2,38	3,43	2,65	2,39	3,66	3,04	2,78	4,53	0,370	<b>0,023</b>
	Sway AP	4,12	3,94	5,07	3,84	3,49	4,40	4,82	4,29	5,29	<b>0,004</b>	0,279
	V ML	5,13	4,91	7,03	5,26	4,92	7,36	5,94	5,24	7,65	0,970	0,296
	V AP	11,45	10,19	17,97	12,03	10,92	14,39	11,96	11,04	16,73	0,852	0,263
	V	12,96	11,43	19,35	12,96	12,28	16,13	13,16	12,58	18,38	0,881	0,263
Stoj o úzké bázi	Sway ML	6,84	5,82	8,43	5,80	5,08	6,29	6,30	5,28	6,81	<b>0,003</b>	<b>0,006</b>
	Sway AP	5,74	4,95	6,50	4,95	4,47	5,81	4,96	4,32	5,40	0,122	<b>0,002</b>
	V ML	17,88	14,28	21,73	16,23	12,55	18,33	16,79	14,14	20,74	<b>0,004</b>	0,349
	V AP	19,71	15,32	22,75	15,25	13,43	20,25	18,42	14,94	21,96	<b>0,003</b>	0,372
	V	24,98	21,64	31,45	22,03	18,89	27,24	25,32	21,30	30,11	<b>0,002</b>	0,327

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

Při porovnání parametrů COP naměřených během jednoduchých úloh s parametry COP získanými v situaci obou duálních úloh je zřejmé zvýšení hodnot parametrů COP (způsobené přidáním simultánně řešeného kognitivního úkolu) u testovacích situací, jejichž součástí je stoj o široké bázi, a naopak snížení hodnot parametrů COP u testovacích situacích obsahujících stoj o úzké bázi.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující oba posturální úkoly s Brooks Spatial Memory Task (zaměřeným na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti) jsou statisticky významné rozdíly přítomny u stoje o úzké bázi (s výjimkou parametru sway AP). U stoje o široké bázi je signifikantní rozdíl přítomen pouze v případě parametru sway AP.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující oba posturální úkoly se Zapamatováním řady slov (zaměřeným na verbální složku pracovní paměti) je statistiky



významný rozdíl přítomen pouze ve třech případech, a to u parametru sway ML v případě stoje o široké bázi a u parametrů sway ML a sway AP v případě stoje o úzké bázi.

## Shrnutí výsledků týkajících se H1

Z Tabulky 11, která shrnuje posouzení jednotlivých částí H1, je patrné, že pouze v případě výzkumné skupiny PS-DD a za duální situace s použitím kognitivního úkolu Brooks Spatial Memory Task lze potvrdit existenci rozdílu v úrovni posturální kontroly hodnocené během duální úlohy a v situaci bez simultánně probíhajícího kognitivního úkolu.

Tabulka 11. Posouzení hypotézy H1 pro jednotlivé skupiny.

Typ kognitivního úkolu	Výzkumná skupina	Počet stat. význam. rozdílů	Výsledek H1
Brooks Spatial Memory Task	ZMJ	7 z 15	Nelze zamítnout
	ZAS	4 z 15	Nelze zamítnout
	ZS-DD	4 z 10	Nelze zamítnout
	PS-DD	5 z 10	<b>Hypotéza zamítnuta</b>
Zapamatování řady slov	ZMJ	3 z 15	Nelze zamítnout
	ZAS	1 z 15	Nelze zamítnout
	ZS-DD	0 z 10	Nelze zamítnout
	PS-DD	3 z 10	Nelze zamítnout

*Legenda: ZMJ – soubor zdravých mladých jedinců; ZAS – soubor zdravých aktivních seniorů; ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory; PS-DD soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.*

## 5.2 Vliv duální úlohy na výsledek kognitivního úkolu

Kapitola obsahuje výsledky k H2: *Není rozdíl ve výsledku kognitivního úkolu prováděného během duální úlohy a v situaci bez simultánně probíhajícího posturálního úkolu.*

H2 je posuzována zvláště pro oba typy kognitivních úkolů a v rámci nich pro každý ze čtyř výzkumných souborů.

## Výsledky pro soubor zdravých mladých jedinců (ZMJ)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor ZMJ jsou uvedeny v Tabulce 12.

Tabulka 12. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor ZMJ.

Kognitivní úkol	JÚ			DÚ Úzká báze			DÚ Tandemový stoj			DÚ Stoj na 1 DK			JÚ x DÚ Úzká báze	JÚ x DÚ Tandem.	JÚ x DÚ Stoj 1 DK
	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p	p
BSMT	7,00	6,10	7,00	7,00	5,46	7,00	7,00	5,84	7,00	7,00	6,34	7,00	0,131	0,424	0,722
ZŘS	4,50	4,13	5,00	4,50	3,67	4,83	4,50	3,96	4,89	5,00	4,27	5,19	0,184	0,555	0,543

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; DK – dolní končetina.

Při porovnání skóre kognitivních úkolů získaného během jednoduchých úloh se skórem získaným v situaci duálních úloh není (až na jednu testovací situaci) zřejmá změna hodnot skóre způsobená přidáním simultánně prováděného posturálního úkolu.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující Brooks Spatial Memory Task s jednotlivými posturálními úkoly je výsledné skóre tohoto kognitivního úkolu nezměněno.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující Zapamatování řady slov s jednotlivými posturálními úkoly zůstalo u dvou testovacích situací výsledné skóre tohoto kognitivního úkolu nezměněno. Pouze v případě testovací situace, kdy byl kognitivní úkol kombinován se stojem na jedné dolní končetině, dochází ke zvýšení výsledného skóre, avšak rozdíl není statisticky významný.

## Výsledky pro soubor zdravých aktivních seniorů (ZAS)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor ZAS jsou uvedeny v Tabulce 13.

Tabulka 13. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor ZAS.

Kognitivní úkol	JÚ			DÚ Široká báze			DÚ Úzká báze			DÚ Tandemový stoj			JÚ x DÚ Široká b.	JÚ x DÚ Úzká báze	JÚ x DÚ Tandem.
	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p	p
BSMT	4,88	4,75	5,97	4,63	3,78	5,39	4,50	3,56	5,72	4,63	3,76	5,36	0,122	0,256	0,145
ZŘS	3,50	3,24	4,06	3,50	3,02	3,73	3,13	2,64	3,72	3,00	2,58	3,70	0,093	0,074	0,063

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; DK – dolní končetina.

Při porovnání skóre kognitivních úkolů získaného během jednoduchých úloh se skórem získaným v situaci duálních úloh je patrné (až na jednu testovací situaci) snížení hodnot skóre způsobené přidáním simultánně řešeného posturálního úkolu.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující Brooks Spatial Memory Task s jednotlivými posturálními úkoly dochází ve všech případech ke snížení hodnot skóre tohoto kognitivního úkolu. Avšak žádný z rozdílů nenabývá statistické významnosti.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující Zapamatování řady slov s jednotlivými posturálními úkoly je u dvou testovacích situací zřejmé snížení výsledného skóre tohoto kognitivního úkolu, avšak bez statistické významnosti. U testovací situace, kdy byl kognitivní úkol kombinován se stojem o široké bázi, je výsledné skóre nezměněno.

### Výsledky pro soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor ZS-DD jsou uvedeny v Tabulce 14.

Při porovnání skóre kognitivních úkolů získaného během jednoduchých úloh se skórem získaným v situaci duálních úloh dochází ve všech případech ke snížení skóre způsobenému přidáním simultánně prováděného posturálního úkolu.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující Brooks Spatial Memory Task s oběma posturálními úkoly nabývají rozdíly v obou případech statistické významnosti.

U porovnání jednoduché úlohy s duální úlohou kombinující Zapamatování řady slov s oběma posturálními úkoly je signifikantní rozdíl přítomen pouze v jednom případě, a to u kombinace se stojem o úzké bázi.

Tabulka 14. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor ZS-DD.

Kognitivní úkol	JÚ			DÚ Široká báze			DÚ Úzká báze			JÚ x DÚ Široká b.	JÚ x DÚ Úzká báze
	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p
<b>BSMT</b>	2,88	2,59	4,20	2,00	1,58	2,75	2,38	2,09	3,61	<b>0,001</b>	<b>0,034</b>
<b>ZŘS</b>	2,63	2,33	3,25	2,50	1,96	2,66	2,50	1,79	2,60	0,106	<b>0,050</b>

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; DK – dolní končetina.

### Výsledky pro soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory (PS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání jednotlivých testovacích situací pro soubor PS-DD jsou uvedeny v Tabulce 15.

Tabulka 15. Statistické charakteristiky a porovnání pro soubor PS-DD.

Kognitivní úkol	JÚ			DÚ Široká báze			DÚ Úzká báze			JÚ x DÚ Široká b.	JÚ x DÚ Úzká báze
	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p	p
<b>BSMT</b>	3,25	2,49	4,13	1,63	1,50	3,32	2,63	1,91	3,56	<b>0,042</b>	0,309
<b>ZŘS</b>	2,50	2,01	2,79	2,25	1,74	2,63	2,25	1,86	2,75	0,376	0,679

Legenda: JÚ – jednoduchá úloha; DÚ – duální úloha; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; DK – dolní končetina.

Při porovnání skóre kognitivních úkolů získaného během jednoduchých úloh se skórem získaným v situaci duálních úloh dochází ve všech případech ke snížení skóre způsobenému přidáním simultánně prováděného posturálního úkolu. V případě kombinace kognitivního úkolu Brooks Spatial Memory Task se stojem o široké bázi nabývá rozdíl ve skóre kognitivního úkolu statistické významnosti.

## Shrnutí výsledků týkajících se H2

Z Tabulky 16, která shrnuje posouzení jednotlivých částí H2, je patrné, že u dvou výzkumných skupin je možné potvrdit existenci rozdílu ve výsledku kognitivního testu prováděného během duální úlohy a v situaci bez simultánně probíhajícího posturálního úkolu. Jedná se o soubory ZS-DD a PS-DD, kdy u souboru ZS-DD se přítomnost rozdílu vyskytuje v případě duální situace s oběma kognitivními úkoly. U souboru PS-DD lze existenci rozdílu potvrdit pouze za duální situace s použitím kognitivního úkolu Brooks Spatial Memory Task.

Tabulka 16. Posouzení hypotézy H2 pro jednotlivé skupiny.

Typ kognitivního úkolu	Výzkumná skupina	Počet stat. význam. rozdílů	Výsledek H1
Brooks Spatial Memory Task	ZMJ	0 ze 3	Nelze zamítnout
	ZAS	0 ze 3	Nelze zamítnout
	ZS-DD	2 ze 2	<b>Hypotéza zamítnuta</b>
	PS-DD	1 ze 2	<b>Hypotéza zamítnuta</b>
Zapamatování řady slov	ZMJ	0 ze 3	Nelze zamítnout
	ZAS	0 ze 3	Nelze zamítnout
	ZS-DD	1 ze 2	<b>Hypotéza zamítnuta</b>
	PS-DD	0 ze 2	Nelze zamítnout

*Legenda: ZMJ – soubor zdravých mladých jedinců; ZAS – soubor zdravých aktivních seniorů; ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory; PS-DD soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.*

### 5.3 Vliv věku na úroveň posturální kontroly

Kapitola obsahuje výsledky k H3: *Úroveň posturální kontroly hodnocená během duální úlohy není ovlivněna věkem.*

Výsledky jsou prezentovány samostatně pro jednotlivá vzájemná srovnání výzkumných souborů a následně posuzovány zvláště pro oba typy kognitivních úkolů.

## Porovnání souborů zdravých mladých jedinců (ZMJ) a zdravých aktivních seniorů (ZAS)

Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZAS jsou uvedeny v Tabulce 17.

Tabulka 17. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZAS.

Posturální úkol	Parametry	Kognitivní úkol	Soubor ZMJ			Soubor ZAS			ZMJ x ZAS p
			$\tilde{x}$	int. -95%	int. +95%	$\tilde{x}$	int. -95%	int. +95%	
Stoj o úzké bázi	Sway ML	(bez k.ú.)	4,86	4,67	5,72	6,17	5,51	6,99	0,182
	Sway AP		4,89	4,37	5,89	6,07	5,30	7,20	0,222
	V ML		11,46	10,61	11,90	16,37	15,39	20,69	<0,001
	V AP		9,25	8,42	9,49	12,29	11,45	17,57	0,002
	V		14,82	13,66	15,17	20,52	19,30	27,19	<0,001
Tandemový stoj	Sway ML		6,03	5,80	6,66	9,11	8,09	9,70	<0,001
	Sway AP		5,59	5,05	6,63	7,42	7,09	10,54	0,003
	V ML		19,66	18,66	21,53	39,18	36,31	48,58	<0,001
	V AP		18,59	17,76	22,21	37,13	32,24	45,01	<0,001
	V		28,28	26,25	30,80	55,68	48,99	66,17	<0,001
Stoj o úzké bázi	Sway ML	BSMT	4,36	4,14	4,98	5,41	4,84	5,95	0,170
	Sway AP		4,69	4,20	5,40	5,27	4,79	5,97	0,428
	V ML		10,62	9,70	11,31	17,01	14,63	21,05	<0,001
	V AP		8,22	7,67	8,88	12,26	10,92	15,65	0,001
	V		13,81	12,49	14,34	21,40	18,44	26,22	<0,001
Tandemový stoj	Sway ML		5,84	5,32	6,31	8,41	7,56	9,34	<0,001
	Sway AP		4,89	4,18	5,51	7,75	5,98	8,83	0,002
	V ML		20,40	18,92	22,30	42,93	37,03	49,90	<0,001
	V AP		16,97	16,55	20,92	36,86	29,88	49,01	<0,001
	V		27,43	25,86	30,36	55,83	48,56	70,16	<0,001
Stoj o úzké bázi	Sway ML	ZŘS	4,40	4,21	5,01	5,66	5,08	6,37	0,033
	Sway AP		4,44	4,17	5,18	5,86	5,07	6,80	0,051
	V ML		11,59	10,34	12,12	19,08	16,20	21,79	<0,001
	V AP		8,40	7,86	9,14	12,85	11,60	16,98	0,001
	V		14,16	13,14	15,14	23,97	20,16	27,61	<0,001
Tandemový stoj	Sway ML		5,67	5,11	5,91	8,83	7,63	9,59	<0,001
	Sway AP		5,33	4,81	6,15	8,18	5,99	11,68	0,017
	V ML		21,58	19,17	22,92	43,82	38,75	52,95	<0,001
	V AP		17,71	16,72	23,02	32,56	30,76	57,31	<0,001
	V		27,95	25,93	32,47	55,73	51,67	78,72	<0,001

Legenda: ZMJ – zdraví mladí jedinci; ZAS – zdraví aktivní senioři; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\tilde{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

Při porovnání souborů ZMJ a ZAS jsou patrné statisticky významné rozdíly mezi oběma soubory v hodnotách parametrů COP, a to ve všech testovacích situacích – tedy v případě jednoduchých úloh i v případě úloh duálních. Výjimku tvoří několik případů, kdy u některých testovacích situací rozdíl mezi oběma soubory nevyšel signifikantní pro všech pět parametrů COP. Konkrétně se jedná o stoj o úzké bázi bez kognitivního úkolu a stoj o úzké bázi v kombinaci s Brooks Spatial Memory Task, kde shodně nevyšly signifikantní rozdíly u parametrů sway ML a sway AP. Lze tak říci, že statisticky významné rozdíly byly častěji přítomny u rychlostních parametrů. Ve všech testovacích situacích (a vždy pro všechny parametry COP) byly zaznamenány vyšší hodnoty parametrů COP u souboru ZAS.

### **Porovnání souborů zdravých mladých jedinců (ZMJ) a zdravých seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD)**

Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZS-DD jsou uvedeny v Tabulce 18.

Při porovnání souborů ZMJ a ZS-DD jsou ve všech třech srovnávaných testovacích situacích (tedy v případě jednoduchých úloh i v případě úloh duálních) zřejmé vyšší hodnoty parametrů COP u souboru ZS-DD. Výjimku tvoří dva případy, u nichž jsou hodnoty parametrů COP vyšší pro soubor ZMJ. U každé ze tří testovacích situací jsou vždy rozdíly mezi soubory u několika parametrů COP statisticky významné, u zbytku COP parametrů rozdíly mezi soubory statistické významnosti nenabývají. Konkrétně se jedná především o parametry sway ML a sway AP, u nichž nevyšly signifikantní rozdíly v žádné ze tří testovacích situací. Lze tak říci, že statisticky významné rozdíly byly častěji přítomny u rychlostních parametrů.

Tabulka 18. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZS-DD.

Posturální úkol	Parametry	Kognitivní úkol	Soubor ZMJ			Soubor ZS-DD			ZMJ x ZS-DD
			ř	int. -95%	int. +95%	ř	int. -95%	int. +95%	p
Stoj o úzké bázi	Sway ML	(bez k.ú.)	4,86	4,67	5,72	5,86	5,14	6,43	0,705
	Sway AP		4,89	4,37	5,89	4,70	4,48	5,35	1,000
	V ML		11,46	10,61	11,90	15,12	13,19	17,98	<b>0,006</b>
	V AP		9,25	8,42	9,49	16,47	15,38	23,05	<b>&lt;0,001</b>
	V		14,82	13,66	15,17	23,88	20,98	29,27	<b>&lt;0,001</b>
Stoj o úzké bázi	Sway ML	<b>BSMT</b>	4,36	4,14	4,98	5,22	4,27	5,89	0,885
	Sway AP		4,69	4,20	5,40	4,18	4,01	4,76	1,000
	V ML		10,62	9,70	11,31	11,98	11,03	15,96	0,339
	V AP		8,22	7,67	8,88	15,15	12,79	18,37	<b>&lt;0,001</b>
	V		13,81	12,49	14,34	18,96	17,73	24,30	<b>0,001</b>
Stoj o úzké bázi	Sway ML	<b>ZŘS</b>	4,40	4,21	5,01	5,42	4,78	5,98	0,215
	Sway AP		4,44	4,17	5,18	4,60	4,40	5,54	1,000
	V ML		11,59	10,34	12,12	13,66	11,57	16,25	0,396
	V AP		8,40	7,86	9,14	16,69	14,20	19,73	<b>&lt;0,001</b>
	V		14,16	13,14	15,14	22,21	19,02	25,53	<b>&lt;0,001</b>

Legenda: ZMJ – zdraví mladí jedinci; ZS-DD – zdraví senioři z domovů pro seniory; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov; ř – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

### Porovnání souborů zdravých aktivních seniorů (ZAS) a zdravých seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZAS a ZS-DD jsou uvedeny v Tabulce 19.

Při porovnání souborů ZAS a ZS-DD jsou výsledky ve všech třech srovnávaných testovacích situacích (tedy v případě jednoduchých úloh i v případě úloh duálních) různorodé. V případě každé ze všech tří testovacích situací dosahují některé parametry COP vyšších hodnot u souboru ZAS, a některé parametry COP dosahují naopak vyšších hodnot u souboru ZS-DD. Ze všech srovnání byly zaznamenány pouze dva statisticky významné rozdíly, a to konkrétně u parametru sway AP v případě kombinace stoje o úzké bázi s Brooks Spatial Memory task a dále u parametru V ML v případě kombinace stoje o úzké bázi s úkolem Zapamatování řady slov.



Tabulka 19. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZAS a ZS-DD.

Posturální úkol	Parametry	Kognitivní úkol	Soubor ZAS			Soubor ZS-DD			ZAS x ZS-DD
			ř	int. -95%	int. +95%	ř	int. -95%	int. +95%	p
Stoj o široké bázi	Sway ML	(bez k.ú.)	3,18	2,68	3,59	2,57	2,29	3,55	0,757
	Sway AP		5,13	4,33	5,71	4,20	3,84	4,81	0,355
	V ML		8,80	7,43	10,64	6,46	5,73	8,50	0,115
	V AP		10,74	9,53	12,70	13,67	11,94	17,33	0,259
	V		14,02	12,50	16,49	15,62	13,43	19,31	1,000
Stoj o úzké bázi	Sway ML		6,17	5,51	6,99	5,86	5,14	6,43	1,000
	Sway AP		6,07	5,30	7,20	4,70	4,48	5,35	0,119
	V ML		16,37	15,39	20,69	15,12	13,19	17,98	0,775
	V AP		12,29	11,45	17,57	16,47	15,38	23,05	0,873
	V		20,52	19,30	27,19	23,88	20,98	29,27	1,000
Stoj o široké bázi	Sway ML	<b>BSMT</b>	2,71	2,49	3,25	3,00	2,48	5,03	1,000
	Sway AP		4,49	3,88	5,03	3,79	3,51	5,02	0,632
	V ML		6,80	6,05	8,04	6,39	4,95	9,58	0,920
	V AP		9,54	8,61	11,97	12,27	10,43	15,70	0,182
	V		11,80	10,84	14,36	13,66	11,72	18,50	1,000
Stoj o úzké bázi	Sway ML		5,41	4,84	5,95	5,22	4,27	5,89	1,000
	Sway AP		5,27	4,79	5,97	4,18	4,01	4,76	<b>0,035</b>
	V ML		17,01	14,63	21,05	11,98	11,03	15,96	0,077
	V AP		12,26	10,92	15,65	15,15	12,79	18,37	1,000
	V		21,40	18,44	26,22	18,96	17,73	24,30	1,000
Stoj o široké bázi	Sway ML	<b>ZŘS</b>	3,23	2,71	3,60	2,97	2,56	3,74	1,000
	Sway AP		4,79	4,33	5,59	4,04	3,76	4,68	0,079
	V ML		7,12	6,81	9,49	6,72	5,33	8,42	0,179
	V AP		10,04	9,08	13,34	12,65	10,87	15,98	0,533
	V		12,01	11,56	16,38	14,27	12,33	18,08	1,000
Stoj o úzké bázi	Sway ML		5,66	5,08	6,37	5,42	4,78	5,98	1,000
	Sway AP		5,86	5,07	6,80	4,60	4,40	5,54	0,193
	V ML		19,08	16,20	21,79	13,66	11,57	16,25	<b>0,034</b>
	V AP		12,85	11,60	16,98	16,69	14,20	19,73	1,000
	V		23,97	20,16	27,61	22,21	19,02	25,53	1,000

Legenda: ZAS – zdraví aktivní senioři; ZS-DD – zdraví senioři z domovů pro seniory; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov; ř – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

### Shrnutí výsledků týkajících se H3

Z Tabulky 20, která shrnuje posouzení jednotlivých částí H3, je patrné, že pouze v případě porovnání výzkumných skupin ZMJ a ZAS lze potvrdit existenci vlivu věku na

úroveň posturální kontroly hodnocené během duální úlohy. Věkem podmíněný rozdíl je možné potvrdit v případě duální situace s využitím obou kognitivních úkolů.

Tabulka 20. Posouzení hypotézy H3 pro jednotlivá vzájemná srovnání a pro oba typy kognitivních úkolů.

Porovnání souborů	Typ kognitivního úkolu	Počet stat. význam. rozdílů	Výsledek H3
ZMJ a ZAS	Brooks Spatial Memory Task	8 z 10	Hypotéza zamítnuta
	Zapamatování řady slov	9 z 10	Hypotéza zamítnuta
ZMJ a ZS-DD	Brooks Spatial Memory Task	2 z 5	Nelze zamítnout
	Zapamatování řady slov	2 z 5	Nelze zamítnout
ZAS a ZS-DD	Brooks Spatial Memory Task	1 z 10	Nelze zamítnout
	Zapamatování řady slov	1 z 10	Nelze zamítnout

*Legenda: ZMJ – soubor zdravých mladých jedinců; ZAS – soubor zdravých aktivních seniorů; ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory.*

## 5.4 Vliv věku na výsledek kognitivního úkolu

Kapitola obsahuje výsledky k H4: *Výsledek kognitivního úkolu hodnocený během duální úlohy není ovlivněn věkem.*

Výsledky jsou prezentovány samostatně pro jednotlivá vzájemná srovnání výzkumných souborů a následně posuzovány zvláště pro oba typy kognitivních úkolů.

### Porovnání souborů zdravých mladých jedinců (ZMJ) a zdravých aktivních seniorů (ZAS)

Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZAS jsou uvedeny v Tabulce 21.

Tabulka 21. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZAS.

Kognitivní úkol	Posturální úkol	Soubor ZMJ			Soubor ZAS			ZMJ x ZAS
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p
BSMT	(sed)	7,00	6,10	7,00	4,88	4,75	5,97	0,183
	Stoj o úzké bázi	7,00	5,46	7,00	4,50	3,56	5,72	0,275
	Tandemový stoj	7,00	5,84	7,00	4,63	3,76	5,36	<b>0,001</b>
ZŘS	(sed)	4,50	4,13	5,00	3,50	3,24	4,06	0,301
	Stoj o úzké bázi	4,50	3,67	4,83	3,13	2,64	3,72	0,153
	Tandemový stoj	4,50	3,96	4,89	3,00	2,58	3,70	<b>0,001</b>

Legenda: ZMJ – zdraví mladí jedinci; ZAS – zdraví aktivní senioři; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti.

Při porovnání souborů ZMJ a ZAS jsou ve všech třech srovnávaných testovacích situacích (tedy v případě jednoduchých úloh i v případě obou typů duálních úloh) zřejmé nižší hodnoty skóre kognitivních úkolů u souboru ZAS. Rozdíly mezi oběma soubory v hodnotách skóre nabývají statistické významnosti v případě duálních úloh, ve kterých je jejich součástí posturální úkol tandemový stoj.

### Porovnání souborů zdravých mladých jedinců (ZMJ) a zdravých seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZS-DD jsou uvedeny v Tabulce 22.

Tabulka 22. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZMJ a ZS-DD.

Kognitivní úkol	Posturální úkol	Soubor ZMJ			Soubor ZS-DD			ZMJ x ZS-DD
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p
BSMT	(sed)	7,00	6,10	7,00	2,88	2,59	4,20	<b>&lt;0,001</b>
	Stoj o úzké bázi	7,00	5,46	7,00	2,38	2,09	3,61	<b>&lt;0,001</b>
ZŘS	(sed)	4,50	4,13	5,00	2,63	2,33	3,25	<b>&lt;0,001</b>
	Stoj o úzké bázi	4,50	3,67	4,83	2,50	1,79	2,60	<b>&lt;0,001</b>

Legenda: ZMJ – zdraví mladí jedinci; ZS-DD – zdraví senioři z domovů pro seniory; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti.

Při porovnání souborů ZMJ a ZS-DD jsou patrné statisticky významné rozdíly mezi oběma soubory v hodnotách skóre kognitivních úkolů, a to ve všech testovacích situacích – tedy v případě jednoduchých úloh i v případě obou typů duálních úloh. Ve všech testovacích situacích byly zaznamenány nižší hodnoty skóre kognitivních úkolů u souboru ZS-DD.

### Porovnání souborů zdravých aktivních seniorů (ZAS) a zdravých seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD)

Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZAS a ZS-DD jsou uvedeny v Tabulce 23.

Tabulka 23. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZAS a ZS-DD.

Kognitivní úkol	Posturální úkol	Soubor ZAS			Soubor ZS-DD			ZAS x ZS-DD
		$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	p
BSMT	(sed)	4,88	4,75	5,97	2,88	2,59	4,20	<b>0,020</b>
	Stoj o široké bázi	4,63	3,78	5,39	2,00	1,58	2,75	<b>&lt;0,001</b>
	Stoj o úzké bázi	4,50	3,56	5,72	2,38	2,09	3,61	0,084
ZŘS	(sed)	3,50	3,24	4,06	2,63	2,33	3,25	0,051
	Stoj o široké bázi	3,50	3,02	3,73	2,50	1,96	2,66	<b>0,002</b>
	Stoj o úzké bázi	3,13	2,64	3,72	2,50	1,79	2,60	0,152

Legenda: ZAS – zdraví aktivní senioři; ZS-DD – zdraví senioři z domovů pro seniory; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti.

Při porovnání souborů ZAS a ZS-DD jsou patrné statisticky významné rozdíly mezi oběma soubory v hodnotách skóre kognitivních úkolů, a to ve všech testovacích situacích kromě duálního úkolu kombinujícího Zapamatování řady slov se stojem o úzké bázi. Ve všech testovacích situacích byly zaznamenány nižší hodnoty skóre kognitivních úkolů u souboru ZS-DD.

## Shrnutí výsledků týkajících se H4

Z Tabulky 24, která shrnuje posouzení jednotlivých částí H4, je patrné, že u všech vzájemných porovnání výzkumných skupin lze potvrdit existenci vlivu věku na výsledek kognitivního úkolu hodnoceného během duální úlohy. Věkem podmíněný rozdíl ve výsledcích je zřejmý v případě obou kognitivních úkolů.

Tabulka 24. Posouzení hypotézy H4 pro jednotlivá vzájemná srovnání a pro oba typy kognitivních úkolů.

Porovnání souborů	Typ kognitivního úkolu	Počet stat. význam. rozdílů	Výsledek H4
ZMJ a ZAS	Brooks Spatial Memory Task	1 ze 2	Hypotéza zamítnuta
	Zapamatování řady slov	1 ze 2	Hypotéza zamítnuta
ZMJ a ZS-DD	Brooks Spatial Memory Task	2 ze 2	Hypotéza zamítnuta
	Zapamatování řady slov	2 ze 2	Hypotéza zamítnuta
ZAS a ZS-DD	Brooks Spatial Memory Task	1 ze 2	Hypotéza zamítnuta
	Zapamatování řady slov	1 ze 2	Hypotéza zamítnuta

Legenda: ZMJ – soubor zdravých mladých jedinců; ZAS – soubor zdravých aktivních seniorů; ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory.

## 5.5 Vliv poruch rovnováhy na úroveň posturální kontroly

Kapitola obsahuje výsledky k H5: *Úroveň posturální kontroly hodnocená během duální úlohy není ovlivněna přítomností poruch rovnováhy.*

H5 je posuzována zvláště pro oba typy kognitivních úkolů. Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZS-DD a PS-DD jsou uvedeny v Tabulce 25.

Při porovnání souborů ZS-DD a PS-DD nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly mezi oběma soubory v hodnotách parametrů COP. U testovacích situacích (u jednoduchých i duálních úloh), jejichž součástí je stoj o úzké bázi, byly zaznamenány vyšší hodnoty parametrů COP u souboru PS-DD. U testovacích situacích obsahujících stoj o široké bázi jsou naopak hodnoty (většiny) parametrů COP vyšší u souboru ZS-DD.

Tabulka 25. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZS-DD a PS-DD.

Posturální úkol	Parametry	Kognitivní úkol	Soubor ZS-DD			Soubor PS-DD			ZS-DD x PS-DD p
			$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	$\bar{x}$	int. -95%	int. +95%	
Stoj o široké bázi	Sway ML	(bez k.ú.)	2,57	2,29	3,55	2,66	2,38	3,43	1,000
	Sway AP		4,20	3,84	4,81	4,12	3,94	5,07	1,000
	V ML		6,46	5,73	8,50	5,13	4,91	7,03	0,597
	V AP		13,67	11,94	17,33	11,45	10,19	17,97	0,882
	V		15,62	13,43	19,31	12,96	11,43	19,35	0,751
Stoj o úzké bázi	Sway ML		5,86	5,14	6,43	6,84	5,82	8,43	0,764
	Sway AP		4,70	4,48	5,35	5,74	4,95	6,50	0,641
	V ML		15,12	13,19	17,98	17,88	14,28	21,73	1,000
	V AP		16,47	15,38	23,05	19,71	15,32	22,75	1,000
	V		23,88	20,98	29,27	24,98	21,64	31,45	1,000
Stoj o široké bázi	Sway ML	<b>BSMT</b>	3,00	2,48	5,03	2,65	2,39	3,66	1,000
	Sway AP		3,79	3,51	5,02	3,84	3,49	4,40	1,000
	V ML		6,39	4,95	9,58	5,26	4,92	7,36	1,000
	V AP		12,27	10,43	15,70	12,03	10,92	14,39	1,000
	V		13,66	11,72	18,50	12,96	12,28	16,13	1,000
Stoj o úzké bázi	Sway ML		5,22	4,27	5,89	5,80	5,08	6,29	0,659
	Sway AP		4,18	4,01	4,76	4,95	4,47	5,81	0,508
	V ML		11,98	11,03	15,96	16,23	12,55	18,33	1,000
	V AP		15,15	12,79	18,37	15,25	13,43	20,25	1,000
	V		18,96	17,73	24,30	22,03	18,89	27,24	1,000
Stoj o široké bázi	Sway ML	<b>ZŘS</b>	2,97	2,56	3,74	3,04	2,78	4,53	1,000
	Sway AP		4,04	3,76	4,68	4,82	4,29	5,29	0,195
	V ML		6,72	5,33	8,42	5,94	5,24	7,65	1,000
	V AP		12,65	10,87	15,98	11,96	11,04	16,73	1,000
	V		14,27	12,33	18,08	13,16	12,58	18,38	1,000
Stoj o úzké bázi	Sway ML		5,42	4,78	5,98	6,30	5,28	6,81	0,883
	Sway AP		4,60	4,40	5,54	4,96	4,32	5,40	1,000
	V ML		13,66	11,57	16,25	16,79	14,14	20,74	0,605
	V AP		16,69	14,20	19,73	18,42	14,94	21,96	1,000
	V		22,21	19,02	25,53	25,32	21,30	30,11	1,000

Legenda: ZS-DD – zdraví senioři z domovů pro seniory; PS-DD – senioři s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov;  $\bar{x}$  – medián; p – hodnota pravděpodobnosti; k.ú. – kognitivní úkol; sway ML – směrodatná odchylka COP v ML směru (v mm); sway AP – směrodatná odchylka COP v AP směru (v mm); V ML – průměrná rychlost pohybu COP v ML směru (v mm/s); V AP – průměrná rychlost pohybu COP v AP směru (v mm/s); V – celková průměrná rychlost pohybu COP (v mm/s).

## Shrnutí výsledků týkajících se H5

Z Tabulky 26, která shrnuje posouzení jednotlivých částí H5, je patrné, že ani v jednom případě nelze potvrdit vliv přítomnosti poruch rovnováhy na úroveň posturální kontroly hodnocené během duální úlohy.

Tabulka 26. Posouzení hypotézy H5 pro oba typy kognitivních úkolů.

Porovnání souborů	Typ kognitivního úkolu	Počet stat. význam. rozdílů	Výsledek H5
ZS-DD a PS-DD	Brooks Spatial Memory Task	0 z 10	Nelze zamítnout
	Zapamatování řady slov	0 z 10	Nelze zamítnout

Legenda: ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory; PS-DD soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.

## 5.6 Vliv poruch rovnováhy na výsledek kognitivního úkolu

Kapitola obsahuje výsledky k H6: *Výsledek kognitivního úkolu hodnocený během duální úlohy není ovlivněn přítomností poruch rovnováhy.*

H6 je posuzována zvláště pro oba typy kognitivních úkolů. Základní statistické charakteristiky a porovnání souborů ZS-DD a PS-DD jsou uvedeny v Tabulce 27.

Tabulka 27. Statistické charakteristiky a porovnání souborů ZS-DD a PS-DD.

Kognitivní úkol	Posturální úkol	Soubor ZS-DD			Soubor PS-DD			ZS-DD x PS-DD
		ř	int. -95%	int. +95%	ř	int. -95%	int. +95%	p
BSMT	(sed)	2,88	2,59	4,20	3,25	2,49	4,13	1,000
	Stoj o široké bázi	2,00	1,58	2,75	1,63	1,50	3,32	1,000
	Stoj o úzké bázi	2,38	2,09	3,61	2,63	1,91	3,56	1,000
ZŘS	(sed)	2,63	2,33	3,25	2,50	2,01	2,79	0,882
	Stoj o široké bázi	2,50	1,96	2,66	2,25	1,74	2,63	1,000
	Stoj o úzké bázi	2,50	1,79	2,60	2,25	1,86	2,75	1,000

Legenda: ZS-DD – zdraví senioři z domovů pro seniory; PS-DD – senioři s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory; BSMT – Brooks Spatial Memory Task; ZŘS – Zapamatování řady slov; ř – medián; p – hodnota pravděpodobnosti.

Při porovnání souborů ZS-DD a PS-DD nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly mezi oběma soubory v hodnotách skóre kognitivních úkolů. U testovacích situacích (u jednoduchých i duálních úloh), ve kterých je s posturálními úkoly kombinován kognitivní úkol Zapamatování řady slov, bylo zaznamenáno nižší skóre tohoto kognitivního úkolu u souboru PS-DD. V případě testovacích situacích, jejichž součástí je

kognitivní úkol Brooks Spatial Memory Task, je skóre nižší u souboru PS-DD v případě kombinace tohoto kognitivního úkolu se stojem o široké bázi. Ve zbývajících dvou testovacích situacích jsou patrné nižší hodnoty skóre u souboru ZS-DD.

### **Shrnutí výsledků týkajících se H6**

Z Tabulky 28, která shrnuje posouzení jednotlivých částí H6, je patrné, že ani v jednom případě nelze potvrdit vliv přítomnosti poruch rovnováhy na výsledek kognitivního úkolu hodnoceného během duální úlohy.

Tabulka 28. Posouzení hypotézy H6 pro oba typy kognitivních úkolů.

Porovnání souborů	Typ kognitivního úkolu	Počet stat. význam. rozdílů	Výsledek H6
ZS-DD a PS-DD	Brooks Spatial Memory Task	0 ze 2	Nelze zamítnout
	Zapamatování řady slov	0 ze 2	Nelze zamítnout

*Legenda: ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory; PS-DD soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory.*



## 6 DISKUSE

Poruchy rovnováhy patří ke zdravotním problémům doprovázejícím stárnutí a jejich výskyt se zvyšuje s rostoucím věkem jedinců (Ambrose et al., 2013; Masud & Morris, 2001; World Health Organization, 2007). Rozvoj instability s sebou nese závažná rizika, kterými jsou pády, a především pak následky pádů – fraktury a další zranění (Topinková, 2010). Existuje řada přístupů a metod jak posturální kontrolu hodnotit a jak vytipovávat jedince s rizikem pádů vyžadující léčebnou intervenci. Posturální kontrola může být hodnocena za relativně klidných podmínek, nebo může být testovací situace různými způsoby ztížena. Jednou z možností hodnocení rovnováhy za ztížených podmínek jsou kognitivní duální úlohy, pomocí nichž je posturální kontrola testována za situace, kdy je současně s posturálním úkolem prováděn ještě úkol kognitivní. Dle Tideiksaara (1996; in Woollancott & Shumway-Cook, 2002) u seniorů s poruchami rovnováhy k většině pádů nedochází během „nerušeného“ stoje či chůze, nýbrž v situacích, kdy se tyto jedinci věnují ještě nějaké další činnosti zatěžující kognitivní procesy – především pozornost. Příkladem takové situace je hovor s jinou osobou v průběhu chůze. Z tohoto důvodu se kognitivní duální úlohy jeví jako vhodná metoda testování posturální kontroly, protože umožňují nasimulovat duální situace přirozeně se vyskytující v rámci každodenního života.

V rámci problematiky týkající se hodnocení posturální kontroly během duálních úloh již byla realizována řada výzkumů. Práce na toto téma se začínají ve výraznější míře objevovat na konci 20. století (např. Brown et al., 1999; Kerr et al., 1985; Maylor & Wing, 1996; Shumway-Cook et al., 1997). Převážná většina starších i novějších studií využívajících duální situace zkoumá vliv věku (tedy vliv stárnutí) na úroveň posturální kontroly (Brown et al., 1999; Hollman et al., 2007; Huxhold et al., 2006; Jamet et al., 2007; Maylor et Wing, 1996; Maylor et al., 2001). Další studie se zaměřují na použití duálních úloh pro hodnocení rozdílů mezi zdravými jedinci a jedinci s poruchou rovnováhy (Sample et al., 2016; Shumway-Cook et al., 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2000; Swanenburg et al., 2008). Další práce pak cílí pouze na zdravé jedince, u nichž je zkoumána volba různých posturálních a kognitivních úkolů z hlediska jejich vlivu na výsledky (např. Kerr et al., 1985; Moghadam et al., 2011; Resch et al., 2011; Richer et al., 2017).

Tato disertační práce se zabývá vlivem vybraných faktorů na posturální kontrolu a na pracovní paměť během provádění duálních úloh. Konkrétně se jedná o vliv věku a vliv poruch rovnováhy. Od předešlých výzkumů se tato práce liší hlavně svou komplexností, kdy byl v rámci jednoho výzkumu řešen jak aspekt věku, tak aspekt poruch rovnováhy. Z předešlých prací integrují tato dvě témata dohromady pouze dvě další studie, a to výzkum autorů Shumway-Cook et al. (1997) a výzkum autorů Shumway-Cook a Woollancott (2000). Zmíněné práce disponují dvěma charakteristikami souvisejícími s metodikou výzkumu, které tato práce záměrně modifikovala. První charakteristikou prací, již lze považovat za deficit, je volba kognitivního úkolu vyžadujícího artikulaci během měření posturální kontroly na silové plošině. Artikulace během měřeného úseku na silové plošině může zkreslit získané výsledky týkající se úrovně posturální kontroly, jak dokazují autoři Dault et al. (2003). Druhým metodologickým rysem prací je omezení se na sledování jediného parametru posturální kontroly, kterým je délka trajektorie COP. V prezentované práci bylo sledováno celkem pět parametrů COP.

Parametry COP (použité v tomto výzkumu) byly získány pomocí měření posturální kontroly při několika posturálních úkolech různé obtížnosti. Různé obtížnosti bylo dosaženo zužováním opěrné báze a zařazením tandemového stoje. Tento koncept volí například studie autorů Dault et al. (2001) nebo Melzer et al. (2001). V dalších výzkumech je voleno ztížení přidáním labilní podložky (Dault et al., 2003; Pellecchia et al., 2003; Shumway-Cook et al., 1997; Shumway-Cook et Woollancott, 2000), vyloučením zraku (Swanenburg et al., 2008), či kombinací obou možností (Moghadam et al., 2011; Riley et al., 2005).

V prezentovaném výzkumu byly využity dva kognitivní úkoly zaměřené na paměť. Úkoly byly cíleně vybrány tak, aby každý zatěžoval jinou složku pracovní paměti – Brooks Spatial Memory Task pro vizuálně prostorovou paměť a Zopakování řady slov pro verbální paměť. Výběr dvou kognitivních úkolů zaměřených na jinou složku pracovní paměti vycházel z poznatků poukazujících na vliv typu kognitivního úkolu na výsledky obou složek duální úlohy – tedy na výsledek posturálního i kognitivního úkolu (Kerr et al., 1985; Maylor et al., 2001; Maylor & Wing, 1996; Swan et al., 2004). Dalším kritériem pro volbu kognitivních úkolů bylo, aby kognitivní úkoly nevyžadovaly slovní odpovědi (tedy artikulaci) přímo během měření posturální kontroly na silové plošině.

Brooks Spatial Memory Task je ve výzkumech pracujících s duálními úlohami často volen jako úkol zatěžující vizuálně prostorovou paměť (Bergamin et al. 2014; Kerr et al., 1985; Maylor et al., 2001; Maylor & Wing, 1996; Swan et al., 2004). Pokud jde o úkol zaměřený na verbální paměť, zde už není volba napříč studiemi tak konzistentní. Typicky bývají využívány úkoly, které vyžadují slovní odpovědi nebo jinou motorickou reakci přímo během měření posturální kontroly na silové plošině (Andersson et al. 2002; Brown et al., 1999; Hollman et al., 2007; Huxhold et al., 2006; Maylor & Wing, 1996; Moghadam et al., 2011; Pellecchia et al., 2003; Shumway-Cook et al., 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2000; Swanenburg et al., 2008), čemuž se chtěla tato práce vyhnout. Minimum prací volí úkoly umožňující probandům odpovědět až po skončení měření. Jedná se o studie autorů Kerr et al. (1985), Maylor et al. (2001) a Swan et al. (2004) využívající Brooks Nonspatial Memory Task nebo práce autorů Bergamin et al. (2014) s úkolem nazvaným Mental Arithmetic Task. Základní princip obou těchto úkolů je shodný s úkolem Zapamatování řady slov, a to zaměstnat kognitivní procesy během měření posturální kontroly, avšak bez nutnosti artikulovat či podávat jiné motorické odpovědi přímo během měření posturální kontroly.

Práce zaměřující se na zkoumání vlivu věku na posturální kontrolu během duálních úloh typicky porovnávají dva (Bergamin et al. 2014; Brown et al., 1999; Maylor et al., 1996; Huxhold et al., 2006; Melzer et al., 2001; Swan et al., 2004) až tři (Hollman et al., 2007; Jamet et al., 2007) výzkumné soubory s rozdílným věkem. Výjimku tvoří studie autorů Maylor et al. (2001) pracující se 70 jedinci rozdělenými do šesti souborů po věkových dekádách. Studie řešící vliv poruch rovnováhy na úroveň posturální kontroly hodnocené během duálních úloh porovnávají dva výzkumné soubory se stejným (resp. s co nejpodobnějším) věkem (Sample et al., 2016; Swanenburg et al., 2008). Studie autorů Shumway-Cook et al. (1997) a Shumway-Cook & Woollancott (2000) kombinují problematiku vlivu věku a vlivu přítomnosti poruch rovnováhy, tudíž porovnávají tři výzkumné skupiny – mladé zdravé jedince, zdravé seniory a seniory s poruchami rovnováhy. Tento přístup se velmi podobá přístupu této práce.

## Diskuse k výsledkům pro hypotézy H1 a H2

První dvě hypotézy se zabývaly vlivem simultánně prováděného úkolu (posturálního i kognitivního) na úroveň provedení druhé složky duální úlohy. Sledován byl tedy vliv duální situace jak na úroveň posturálních úkolů (H1), tak na výsledek kognitivních testů (H2). Monitorování obou složek duálních úloh je důležité pro získání komplexního pohledu na vliv duálních úloh na úroveň provádění obou jejích složek a pro následné srovnání úrovně jejich provedení s jednoduchými situacemi (Boisgontier et al., 2013).

V rámci výsledků H1 byl zjištěn převažující kladný vliv přidání kognitivních úkolů na kvalitu zvládnutí úkolů posturálních. Přidáním kognitivního úkolu tedy docházelo častěji ke zlepšení úrovně posturální kontroly. Tento jev je nejvíce patrný u souboru ZMJ a ZS-DD, kde ke zlepšení úrovně posturální kontroly došlo u všech kombinací posturálních a kognitivních úkolů. U souboru ZAS došlo ke zlepšení kvality posturální kontroly jen v některých případech. U souboru PS-DD se úroveň posturální kontroly v rámci duálních úloh zlepšila v případě kombinace stoje o úzké bázi s oběma kognitivními úkoly. U kombinací obsahujících stoj o široké bázi došlo po přidání kognitivních úkolů ke snížení úrovně posturální kontroly.

K podobným výsledkům, kdy měly duální úlohy pozitivní vliv na úroveň posturální kontroly, došli také autoři následujících studií. Jedná se převážně o výzkumy realizované na mladých zdravých jedincích – Andersson et al. (2002), Dault et al. (2001), Resch et al. (2011), Richer et al. (2017) a Riley et al. (2005). Studie autorů Jameta et al. (2007) uvádí zlepšení úrovně posturální kontroly během duálních úloh u mladých zdravých jedinců, zatímco u zdravých seniorů došlo ke zhoršení její úrovně. Autoři Swan et al. (2004) naopak zjistili kladný vliv přidání kognitivního úkolu na kvalitu posturální kontroly u zdravých seniorů, zatímco posturální kontrola zdravých mladých jedinců zůstala neovlivněna. Autoři tento jev vysvětlují nedostatečnou obtížností posturálního úkolu pro skupinu mladých jedinců. Nemohlo tudíž dojít k odpoutání pozornosti od vědomého řízení rovnováhy k řízení automatickému, které u mladých jedinců bývá preciznější (Boisgontier et al., 2013).

Studie popisující negativní vliv duální úlohy na úroveň posturální kontroly zahrnují většinou jak mladé zdravé jedince, tak zdravé seniory (a popřípadě i seniory s poruchou rovnováhy). Shumway-Cook a Woollancott (2002), Shumway-Cook et al. (1997) i Melzer

et al. (2001) shodně u zdravých seniorů uvádějí negativní vliv přidání kognitivního úkolu na posturální kontrolu. V případě první studie zůstala u mladých jedinců posturální kontrola během duální úlohy neovlivněna, ve druhé a třetí studii došlo i u mladých jedinců ke zhoršení výsledků posturálních úkolů. Negativní vliv duální úlohy na posturální kontrolu u zdravých mladých jedinců je také výsledkem studií autorů Ceyte et al. (2014) a Pellecchia et al. (2003).

V rámci výsledků vztahujících se k hypotéze H2 převažoval negativní vliv přidání posturálních úkolů na úroveň zvládnání úkolů kognitivních. Přidání posturálního úkolu tedy znamenalo snížení skóre kognitivních úkolů. Tento fenomén se projevil ve všech výzkumných souborech kromě souboru ZMJ, kde nebylo skóre kognitivních úkolů ovlivněno.

Většina prací zabývajících se tematikou hodnocení posturální kontroly během duálních úloh sleduje vliv duálních úloh pouze na posturální úkoly a nechává bez povšimnutí vliv na druhou složku duální situace, jíž jsou úkoly kognitivní. Studie hodnotící i kognitivní část duální úlohy prezentují negativní nebo zanedbatelný vliv duálních úloh na provádění kognitivních úkolů. Andersson et al. (2002) u skupiny zdravých mladých jedinců i Shumway-Cook et al. (1997), kteří do studie zahrnuli zdravé mladé jedince a zdravé seniory (i seniory s poruchou rovnováhy), prezentují ve svých výzkumech negativní vliv duálních úloh na výsledky kognitivních úkolů, a to pro všechny soubory. Ve studii Daulta et al. (2001) pak nedošlo k žádnému vlivu duální úlohy na provádění kognitivních úkolů.

Z prezentovaných výsledků získaných v rámci této studie je tedy zřejmý převažující kladný vliv duálních úloh na úroveň posturální kontroly – tedy na kvalitu zvládnání posturálních úkolů. Převažující vliv duálních úloh na výsledky kognitivních úkolů (paměťových testů) byl naopak negativní (nebo žádný). Podobné výsledky uvádějí také autoři Andersson et al. (2002) a tento trend potvrzuje též studie Fraizera a Mitry (2008). Zmínění autoři tuto skutečnost vysvětlují pomocí facilitačního vzorce a též pomocí principu s názvem *postura na prvním místě* (angl. *posture first*). Facilitační vzorec znamená facilitaci posturálních mechanismů s cílem podpořit plnění kognitivního úkolu. Princip upřednostňování postury zase vychází z omezení kognitivních zdrojů pro účely řešení kognitivního úkolu s cílem zachovat tyto zdroje pro mechanismy posturální kontroly. Kdy a do jaké míry se dané vzorce projeví, závisí na relativní obtížnosti obou

složek duální úlohy. Dle autorů Huxhold et al. (2006) dochází při jednoduchých kognitivních úkolech ke zlepšení úrovně posturální kontroly, zatímco při provádění obtížného úkolu se výsledky posturálních úkolů zhoršují. Tímto zjištěním lze vysvětlit výrazné zlepšení posturální kontroly při duálních úlohách u souboru ZMJ, protože pro mladé jedince byly pravděpodobně zvolené kognitivní úkoly snazší než pro soubory seniorů. Tato teorie nicméně nevysvětluje, proč k relativně výraznému zlepšení posturální kontroly během duálních úloh došlo též u souboru ZS-DD. Celková zjištění získaná v rámci H1 a H2 jen částečně korespondují s autory Fraizerem a Mitrou (2008), dle nichž je negativní vliv duálních úloh patrnější u starších jedinců a jedinců s poruchou rovnováhy.

### **Diskuse k výsledkům pro hypotézy H3 a H4**

Třetí a čtvrtá hypotéza se věnovaly vlivu věku na zvládnání obou složek duální úlohy. Byly tedy sledovány rozdíly ve výsledcích mezi věkově odlišnými soubory, a to jak u posturálních úkolů, tak u úkolů kognitivních.

V případě porovnání souboru ZMJ s oběma soubory zdravých seniorů (ZAS i ZS-DD) dosahují oba seniorské soubory horších výsledků, a to v případě všech duálních úloh (resp. všech testovaných kombinací posturálních a kognitivních úkolů). Horší výsledky se týkají obou složek duálních úloh. Lze konstatovat, že je zde přítomen výrazný negativní vliv věku na zvládnání obou složek duálních úloh. Nicméně je nutné podotknout, že negativní vliv věku se projevil také u jednoduchých úloh, kde však v některých případech nejsou rozdíly mezi soubory tak výrazné.

Vliv rostoucího věku na zhoršení úrovně posturální kontroly v situacích duálních úloh ve srovnání se situacemi jednoduchými lze vysvětlit pomocí menšího zapojení automatických procesů do udržování rovnováhy u seniorů a také věkem omezenými zdroji pro udržování rovnováhy (omezenou kapacitou pozornosti). U starších jedinců jsou pro řízení posturální kontroly využívány ve větší míře vědomé procesy namísto procesů automatických. Tento fenomén sám o sobě způsobuje snížení úrovně posturální kontroly a současně klade vyšší nároky na kapacitu pozornosti, která navíc bývá u seniorů snižena, což vede k dalšímu negativnímu vlivu na úroveň posturální kontroly (Boisgontier et al., 2013; Jamet et al., 2005; Woollancott & Shumway-Cook, 2002). Zapojení jiných částí

mozku do udržování rovnováhy bylo prokázáno i pomocí funkční magnetické rezonance (Van Impe et al., 2011; Zwergal et al., 2012).

Obdobné výsledky, jako jsou prezentovány v této studii, lze nalézt také v podobných výzkumech. Ne všechny práce však hodnotí obě složky duální úlohy, ale zaměřují se pouze na monitorování úkolů posturálních. Výzkumy hodnotící obě složky duálních úloh shodně prezentují nižší úroveň posturální kontroly i horší výsledky kognitivních úkolů u zdravých seniorů ve srovnání s mladými jedinci (Huxhold et al., 2006; Maylor & Wing, 1996; Maylor et al., 2001; Shumway-Cook & Woollancott, 2000). Autoři Shumway-Cook et al. (1997) potvrdili vliv věku pouze na snížení úrovně posturální kontroly (tedy vliv na posturální úkoly prováděné v rámci duálních úloh). Výsledky kognitivních úloh zůstaly věkem neovlivněny, což autoři vysvětlují nedostatečnou náročností testovacích úkolů, díky čemuž se nemohl projevit mechanismus s názvem postura na prvním místě.

U srovnání obou souborů zdravých seniorů mezi sebou (ZAS versus ZS-DD) nelze v případě vlivu duálních úloh na výsledky posturálních úkolů nalézt žádný trend. Pokud jde o kognitivní složku duálních úloh, byly výsledky horší u ZS-DD. V tomto případě se tedy projevuje negativní vliv věku. Přítomnost negativního vlivu věku pouze na kognitivní složku duální úlohy lze vysvětlit již dříve zmíněným mechanismem nazývaným postura na prvním místě (Fraizer & Mitra, 2008). Jinými slovy, v případě zhoršené posturální kontroly se během duální úlohy tento deficit přednostně projeví snížením skóre kognitivního úkolu, čímž se rozdíl mezi oběma soubory manifestuje primárně na výsledcích kognitivní složky duální situace.

Výsledky duálních úloh u věkově odlišných, nicméně relativně blízkých výzkumných souborů se zabývala také studie autorů Maylor et al. (2001). Probandi zde byli rozděleni dle věku do šesti souborů po dekadách, kdy se věkové průměry nejbližších souborů vzájemně lišily jen o cca 10 let. Výsledky sice prokázaly celkový negativní vliv věku na úroveň obou složek duálních úloh, nicméně rozdíly mezi jednotlivými věkovými skupinami, které si byly věkově nejbliže, nebyly nalezeny.

## **Diskuse k výsledkům pro hypotézy H5 a H6**

Pátá a šestá hypotéza se věnovala vlivu přítomnosti poruchy rovnováhy na zvládnutí obou složek duální úlohy. Byly tedy sledovány rozdíly ve výsledcích mezi oběma soubory

lišícími se přítomností poruchy rovnováhy, a to jak u posturálních úkolů, tak u úkolů kognitivních.

Ze srovnání obou seniorských souborů nejsou patrné žádné konzistentní výsledky, které by ukazovaly na vliv přítomnosti poruch rovnováhy na úroveň zvládnání obou složek duálních úloh. Výsledky jsou velmi různorodé, a to v případě obou složek duálních úloh (tedy posturálních i kognitivních úkolů).

Příčinou nemožnosti vyvodit závěry týkající se vlivu poruch rovnováhy na výsledky duálních úloh může být kritérium výběru jedinců do souboru PS-DD. Jedinci byli do skupiny PS-DD vybíráni na základě přítomnosti minimálně dvou pádů během posledního půl roku. Senioři bez přítomnosti pádů pak byli zařazeni do souboru ZS-DD. Problematika výběru jedinců s poruchou rovnováhy pro prezentovaný výzkum je podrobněji diskutována v této kapitole níže – v části věnující se limitacím výzkumu. Stejný, nebo dokonce méně přísný přístup pro výběr seniorů s poruchou rovnováhy praktikovaly i další studie zabývající se hodnocením posturální kontroly u seniorů s poruchou rovnováhy během duálních úkolů (Sample et al. 2016; Shumway-Cook et al., 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2000; Swanenburg et al. 2008). Kromě první citované práce (Sample et al., 2016), kde byla dostačující přítomnost alespoň jednoho pádu během posledního roku, vyžadovaly studie minimálně dva pády během uplynulých šesti měsíců, popř. během uplynulého roku. Ve třech zmíněných studiích se podařilo prokázat rozdíly v posturální kontrole mezi zdravými seniory a seniory s poruchou rovnováhy. Ve studii autorů Sample et al. (2016) byl přítomen statisticky významný rozdíl v úrovni posturální kontroly hodnocené během duální úlohy mezi souborem zdravých seniorů a souborem seniorů s poruchou rovnováhy. Rozdíl v provedení kognitivních úkolů zde hodnocen nebyl. Obdobně výzkum autorů Shumway-Cook a Woollancott (2000) popisuje rozdíly v kvalitě posturální kontroly mezi oběma soubory v situaci duálních úloh. Shumway-Cook et al. (1997) našli rozdíly mezi oběma soubory v úrovni posturální kontroly. Kvalita provedení druhé složky duální úlohy (tedy výsledky kognitivních úkolů) se mezi soubory nelišila. Výzkum Swanenburga et al. (2008) byl realizován s odlišným záměrem než předchozí studie. Konkrétně se zabýval reliabilitou měření posturální kontroly během duálních úloh, již se podařilo prokázat jako dobrou, a to u obou souborů.

Důvodů dosažení odlišného výsledku v této práci ve srovnání s předchozími třemi studiemi (Sample et al. 2016; Shumway-Cook et al., 1997; Shumway-Cook & Woollancott,



2000) může být více. Ve výzkumech autorů Shumway-Cook et al. (1997) a Shumway-Cook a Woollancott (2000) byl mimo jiné použit posturální úkol s vyloučením zrakové kontroly, kdy zejména u použití tohoto úkolu v rámci duální úlohy byl zvýrazněn rozdíl v kvalitě posturální kontroly mezi souborem zdravých seniorů a seniorů s poruchami rovnováhy. Shumway-Cook a Woollancott (2000) tuto skutečnost vysvětlují tím, že přidání úkolu náročného na pozornost u seniorů s poruchou rovnováhy zhoršuje jejich úroveň rovnováhy především v situacích, kdy je znemožněna zraková kontrola. Tento jev však nebyl pozorován u seniorů bez poruchy rovnováhy. Dalším důvodem, proč byl u studií autorů Shumway-Cook et al. (1997) a Shumway-Cook a Woollancott (2000) prokázán rozdíl mezi zdravými seniory a seniory s poruchou rovnováhy, mohla být charakteristika výzkumných souborů – zejména rozdílný věk, ale i odlišný celkový zdravotní stav probandů obou souborů. V právě jmenovaných studiích byly poměrně velké věkové rozdíly mezi oběma porovnávanými skupinami, což přiznávají i samotní autoři. V první studii byl průměrný věk zdravých seniorů 74 let (věkové rozmezí 65–86 let) a průměrný věk seniorů s poruchami rovnováhy 78 let (věkové rozmezí 65–94 let). Ve druhém výzkumu byl průměrný věk zdravých seniorů 74,6 let (věkové rozmezí 65–85 let) a seniorů s poruchami rovnováhy 85,3 let (věkové rozmezí 76–95 let). Naproti tomu v této práci byl věkový průměr zdravých seniorů 80,6 let a seniorů s poruchou rovnováhy 81,8 let, přičemž věkové rozmezí bylo téměř totožné. Autoři obou studií přiznávají, že na rozdíl v úrovni posturální kontroly hodnocené během duálních úloh se tedy kromě rozdílné úrovně rovnováhy mohly podílet i další faktory – například rozdílný věk seniorů, či počet komorbidit.

### **Limitace výzkumu**

První limitací studie je volba kritéria, dle kterého byli vybíráni participanti do souboru PS-DD. Jedinci s poruchou rovnováhy byli určováni na základě přítomnosti dvou a více pádů během posledního půlroku. Obdobné kritérium bylo voleno taktéž ve studiích se stejným tématem (Sample et al. 2016; Shumway-Cook et al., 1997; Shumway-Cook & Woollancott, 2000; Swanenburg et al. 2008), kde se však podařilo prokázat rozdíly mezi oběma skupinami alespoň v některých testovaných situacích. Volba kritéria dvou a více pádů se tedy zdála jako vhodná, nicméně v kontextu výběru jedinců pro tento výzkum se plně neosvědčila. Jedinci pro soubory ZS-DD a PS-DD byli totiž vybíráni z domovů pro

seniory. Tyto instituce se dle anamnestických výpovědí seniorů ukázaly jako relativně bezpečná prostředí, pokud jde o výskyt pádů. Nižší výskyt pádů v domovech pro seniory, ve kterých byli vybíráni probandi, lze vysvětlit lepší výživou klientů, možností používat nízká chodítka, jednodušším terénem pro pohyb, menšími nároky na sebeobsluhu a chod domácnosti, pozitivním vlivem rehabilitace a instruktáží atd. Výskyt pádů u zkoumaných jedinců tedy mohl být pravděpodobně ovlivněn dobou, jak dlouho daný senior v domově pro seniory pobýval a vliv mohl mít také osobnostní faktor – dbaní seniorů na prevenci pádů. Někteří klienti vypovídali, že se snaží pádům vyhýbat například používáním kompenzačních pomůcek (nejčastěji nízkých chodítek) pro delší chůzi nebo chůzi v terénu, bez kterých se ale zvládli běžně a bez problémů pohybovat, tudíž se jednalo spíše o preventivní opatření.

Druhá limitace se týkala volby posturálních a kognitivních úkolů a zejména pak nastavení jejich obtížnosti tak, aby úkoly nebyly příliš jednoduché pro soubor ZMJ a případně též pro skupinu ZAS a zároveň byly zvládnutelné a bezpečné též pro participanty z domovů pro seniory (soubory ZS-DD a PS-DD). I přes snahu optimalizovat obtížnost pro všechny soubory se nakonec přílišná jednoduchost duálních úloh pro soubory ZMJ a ZAS mohla projevit lepšími výsledky jedné či obou složek duální úlohy právě v situacích duálních úloh v porovnání s výsledky úkolů v jednoduchých situacích. K podobným závěrům došli autoři Huxhold et al. (2006), kteří tento jev označují jako U-shaped relation – nelineární vztah tvaru U.

Třetí limitace studie souvisela se samotným měřením, konkrétně s vlivem učení na plnění kognitivních úkolů. Zaznamenán byl určitý vliv učení, a to u obou souborů seniorů z domovů pro seniory (ZS-DD a PS-DD). Vliv učení není sice z výsledků kognitivních testů znát, ale dle pozorování participantů při provádění úkolů a také dle výpovědí samotných jedinců mohl vliv učení zapříčinit méně patrné zhoršení výsledků kognitivních úkolů prováděných v situacích duálních úloh, jejichž plnění následovalo vždy až po splnění kognitivních úkolů bez současných úkolů posturálních. I přes cvičné pokusy a ujištění se, že senioři úkolům porozuměli, byla patrná narůstající jistota v plnění kognitivních úkolů. Vliv únavy nebyl překvapivě patrný.

Poslední limitace se týká přirozeného fyzického stavu seniorů, kdy senioři disponují oproti mladým jedincům (mimo jiné) zhoršeným sluchem, zrakem a zhoršenou mobilitou. Díky všem těmto atributům kladly duální úkoly (především kognitivní úkol) větší nároky

na pozornost a paměť seniorů. Seniorům (hlavně jedincům ze souborů ZS-DD a PS-DD) například ve srovnání s mladými probandy trvalo déle, než se ze silové plošiny přesunuli ke stolku s nachystaným odpovědním archem, kde měli zaznamenat své odpovědi. Proto si museli číslice či slova pamatovat déle než mladí probandi. Horší kvalita sluchu vyžadovala větší pozornost seniorů při instrukcích o číslech a slovech podávaných pro účel plnění kognitivních úkolů. Slabší zrak zase znamenal složitější orientaci při vyplňování odpovědí v odpovědním archu.

Diskutovaný výzkum nese jednu velmi typickou charakteristiku prací zabývajících se využitím kognitivních duálních úloh pro hodnocení posturální kontroly. Touto charakteristikou je nekonzistentnost výsledků, která se v rámci práce u některých výsledků projevila. V mnoha zde diskutovaných studiích s tématem kognitivních duálních úloh (viz kapitola 6 Diskuse a kapitola 2.3 Posturální kontrola během kognitivních duálních úloh) je patrná nejednotnost výsledků, což vede k obtížnému vytváření závěrů. Problematika nedostatečné konzistence výsledků je charakteristická pro celou oblast výzkumu využití duálních úloh pro testování rovnovážných schopností. Nejednotnost výsledků může být mimo jiné způsobena rozdílným výběrem jak posturálních, tak kognitivních úkolů v rámci jednotlivých výzkumů. U posturálních úkolů jde především o jejich různou obtížnost. Kognitivní úkoly se liší svým zaměřením na zatížení odlišných kognitivních procesů a dále přítomností či nepřítomností artikulace během samotného měření. Nízká konzistence výsledků omezuje použití kognitivních duálních úloh v praxi jako diagnostického nástroje například pro vytipování jedinců se zvýšeným rizikem pádů. Boisgontier et al. (2013) uvádějí doporučení týkající se designu studií s tematikou duálních úloh. Nejdůležitějším doporučením je hodnotit obě složky duální úlohy a porovnat jejich provedení v jednoduché situaci a v situaci duálních úloh. Další kritickou podmínkou je dostatečná obtížnost všech úkolů a správné zaměření v případě kognitivních úkolů (na asociační oblasti mozku) pro vyvolání interference mezi oběma složkami duální úlohy.

### **Východiska pro praxi**

Výzkum potvrdil již známá zjištění uváděná předchozími pracemi. Jedná se zejména o negativní vliv zvyšujícího se věku na úroveň obou složek duálních úloh (tedy vliv na

posturální i kognitivní úkoly), jev U-shaped relation (nelineární vztah tvaru U) a fenomén postura na prvním místě.

Dále z výzkumu vyplynula některá poučení a doporučení pro další výzkumy se stejnou tematikou. Konkrétně jde o nutnost precizně zvážit volbu posturálních i kognitivních úkolů a zejména jejich obtížnost tak, aby byly zvládnutelné, ale zároveň ne příliš jednoduché pro všechny zkoumané soubory. Dalším doporučením je revize kritéria výběru jedinců s poruchami rovnováhy.

Východiskem pro praxi je možné využití jevu U-shaped relation jako diagnostického nástroje pro zjišťování poruch rovnováhy. Pokud by se podařilo stanovit určitou, přesně definovanou obtížnost kognitivního úkolu, zvyšování či snižování úrovně posturální kontroly vlivem přidání simultánního kognitivního úkolu by pak mohlo být interpretováno jako nepřítomnost poruchy rovnováhy, či upozornění na možný výskyt poruchy rovnováhy.

## 7 ZÁVĚRY

Práce se zabývala ověřením vlivu vybraných faktorů na posturální kontrolu a pracovní paměť během provádění duálních úloh. Konkrétně se jednalo o vliv duální úlohy na úroveň obou jejích složek (posturální a kognitivní paměťový úkol), vliv věku na úroveň obou složek duální úlohy a vliv poruch rovnováhy na úroveň obou složek duální úlohy.

Závěry práce lze shrnout do několika bodů:

1. Převažující kladný vliv duálních úloh na úroveň posturální kontroly u zdravých jedinců patřících do věkové kategorie mladých dospělých i do seniorské věkové kategorie.
2. Převažující negativní vliv duálních úloh na výsledky kognitivních úkolů u jedinců ze seniorské věkové kategorie.
3. Obtížně prokazatelný vliv duálních úloh na výsledky kognitivních úkolů u věkové kategorie mladých dospělých.
4. Negativní vliv věku na obě složky duální úlohy – tedy na posturální i kognitivní úkoly.
5. Obtížně prokazatelný vliv přítomnosti poruch rovnováhy u obou složek duální úlohy.

I když je oblast výzkumu zabývající se hodnocením posturální kontroly za pomoci kognitivních duálních úloh zatížena nedostatečnou konzistencí výsledků, lze konstatovat, že výsledky disertační práce potvrzují některá zjištění předcházejících studií zabývajících se touto problematikou. Výsledky získané v rámci tohoto výzkumu mohou posloužit jako další malá část „mozaiky“ v oblasti výzkumu kognitivních duálních úloh.

## 8 SOUHRN

Disertační práce se zabývá hodnocením posturální kontroly s využitím kognitivních duálních úloh, kterými jsou simultánně prováděné kognitivní úkoly během posturálně náročných situací. Hlavním cílem práce bylo ověřit vliv vybraných faktorů na posturální kontrolu a pracovní paměť během provádění duálních úloh. Dílčími cíli práce bylo (1) ověření vlivu duální úlohy na obě její složky a dále (2) ověření vlivu věku a (3) ověření vlivu poruch rovnováhy na provedení obou složek duální úlohy. Výzkum byl realizován na čtyřech výzkumných souborech o celkovém počtu 85 participantů – zdraví mladí jedinci (ZMJ) – 23 probandů s průměrným věkem 24,4 let, zdraví aktivní senioři (ZAS) – 18 probandů s průměrným věkem 68,7 let, zdraví senioři z domovů pro seniory (ZS-DD) – 24 jedinců s průměrným věkem 80,6 let, a senioři s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory (PS-DD) – 20 jedinců s průměrným věkem 81,8 let. Posturální kontrola byla hodnocena pomocí vybraných parametrů COP získaných z měření na silové plošině. Pracovní paměť byla hodnocena za pomoci dvou kognitivních úkolů, kdy Brooks Spatial Memory Task cílil na vizuálně prostorovou složku pracovní paměti a úkol Zapamatování řady slov na její verbální složku. Výsledky ukázaly převažující kladný vliv duálních úloh na úroveň posturální kontroly (u všech skupin zdravých jedinců), a naopak negativní vliv na výsledky úkolů kognitivních (u všech seniorských skupin). Při srovnání ZMJ a skupin zdravých seniorů byl prokázán negativní vliv věku na úroveň obou složek duálních úloh (tedy na posturální i kognitivní úkoly). Naopak nebyl prokázán vliv poruch rovnováhy ani na jednu složku duálních úloh. Lze konstatovat, že výsledky této studie jsou v souladu se zjištěními některých předešlých prací zabývajících se touto problematikou.

## 8 SUMMARY

This dissertation focuses on the assessment of postural control using *cognitive dual tasks*, which are cognitive tasks performed simultaneously in posturally demanding situations. The main objective of the thesis was to examine the influence of selected factors on postural control and working memory during the dual-task performance. The subgoals of the thesis were as follows: (1) to verify the effect of the dual task on both its components, (2) to verify the effect of age and also (3) the effect of balance impairment on the performance of both components of the dual task. The research was conducted on four research sets with a total of 85 participants – healthy young individuals (ZMJ) – 23 participants with an average age of 24.4 years, healthy active seniors (ZAS) – 18 participants with an average age of 68.7 years, healthy seniors from retirement homes (ZS-DD) – 24 participants with an average age of 80.6 years and seniors with balance impairment from retirement homes (PS-DD) – 20 participants with an average age of 81.8 years. Postural control was assessed using selected COP parameters obtained from measurements on a force platform. Working memory was assessed using two cognitive tasks - the Brooks Spatial Memory Task targeting the visuospatial component of working memory and the Repetition of a Series of Words Task targeting the verbal component. The results showed a predominantly positive effect of the dual tasks on the level of postural control (across all groups of healthy individuals) and a negative effect on the results of the cognitive tasks (across all senior groups). When comparing the ZMJ and healthy senior groups, a negative effect of age on the performance level of both components of dual tasks (i.e., postural and cognitive tasks) was observed. In contrast, no effect of balance impairment on either component of dual tasks was demonstrated. It can be concluded that the results of this study are consistent with the findings of some previous studies dealing with this topic.

## 9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abrahamová, D., & Hlavačka, F. (2008). Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiological Research*, 57(6), 957–964. doi.org/10.33549/physiolres.931238
- Agrawal, Y., Carey, J. P., Della Santina, C. C., Schubert, M. C., & Minor, L. B. (2009). Disorders of balance and vestibular function in US adults: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001–2004. *Archives of Internal Medicine*, 169(10), 938–944. doi:10.1001/archinternmed.2009.66
- Allen, D., Ribeiro, L., Arshad, Q., & Seemungal, B. M. (2017). Age-related vestibular loss: Current understanding and future research directions. *Frontiers in Neurology*, 7. Retrieved 12. 9. 2021 from World Wide Web: www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2016.00231/full
- Ambrose, A. F., Paul, G., & Hausdorff, J. M. (2013). Risk factors for falls among older adults: A review of the literature. *Maturitas*, 75(1), 51–61. doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.02.009
- Andersen, G. J. (2012). Aging and vision: Changes in function and performance from optics to perception. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(3), 403–410. doi.org/10.1002/wcs.1167
- Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A., & Larsen, H. C. (2002). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, 58(1), 135–139. doi.org/10.1016/S0361-9230(02)00770-0
- Anson, E., Bigelow, R. T., Swenor, B., Deshpande, N., Studenski, S., Jeka, J. J., & Agrawal, Y. (2017). Loss of peripheral sensory function explains much of the increase in postural sway in healthy older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9. Retrieved 12. 10. 2022 from World Wide Web: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2017.00202/full
- Balasubramaniam, R., & Wing, A. M. (2002). The dynamics of standing balance. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 531–536. doi.org/10.1016/S1364-6613(02)02021-1
- Baratto, L., Morasso, P. G., Re, C., & Spada, G. (2002). A new look at posturographic analysis in the clinical context: Sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control*, 6(3), 246–270. doi.org/10.1123/mcj.6.3.246
- Baudry, S., & Duchateau, J. (2012). Age-related influence of vision and proprioception on Ia presynaptic inhibition in soleus muscle during upright stance. *The Journal of Physiology*, 590(21), 5541–5554. doi.org/10.1113/jphysiol.2012.228932
- Baudry, S., & Gaillard, V. (2014). Cognitive demand does not influence the responsiveness of homonymous Ia afferents pathway during postural dual task in young and elderly



- adults. *European Journal of Applied Physiology*, 114(2), 295–303. doi.org/10.1007/s00421-013-2775-8
- Bauer, C., Gröger, I., Rupperecht, R., & Gaßmann, K. G. (2008). Intrasession reliability of force platform parameters in community-dwelling older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(10), 1977–1982. doi.org/10.1016/j.apmr.2008.02.033
- Bergamin, M., Gobbo, S., Zanotto, T., Sieverdes, J. C., Alberton, C. L., Zaccaria, M., & Ermolao, A. (2014). Influence of age on postural sway during different dual-task conditions. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6. doi.org/10.3389/fnagi.2014.00271. Retrieved 16. 4. 2023 from World Wide Web: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2014.00271/full
- Binder, M. D., Hirokawa, N., & Windhorst, U. (2009). *Encyclopedia of Neuroscience*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2
- Bizovská, L., Janura, M., Míková, M., & Svoboda, Z. (2017). *Rovnováha a možnosti jejího hodnocení*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Bobbert, M. F., & Schamhardt, H. C. (1990). Accuracy of determining the point of force application with piezoelectric force plates. *Journal of Biomechanics*, 23(7), 705–710. doi.org/10.1016/0021-9290(90)90169-4
- Boisgontier, M. P., Beets, I. A., Duysens, J., Nieuwboer, A., Krampe, R. T., & Swinnen, S. P. (2013). Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: Increased recruitment of generic cognitive resources in older adults. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1824–1837. doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.014
- Boros, K., & Freemont, T. (2017). Physiology of ageing of the musculoskeletal system. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 31(2), 203–217. doi.org/10.1016/j.berh.2017.09.003
- Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19(4), 289–299. doi.org/10.1080/14640746708400105
- Brown, L. A., Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1999). Attentional demands and postural recovery: The effects of aging. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 54(4), M165–M171. doi.org/10.1093/gerona/54.4.M165
- Carpenter, M. G., Frank, J. S., Winter, D. A., & Peysar, G. W. (2001). Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. *Gait & Posture*, 13(1), 35–40. doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00093-X
- Ceyte, H., Lion, A., Caudron, S., Kriem, B., Perrin, P. P., & Gauchard, G. C. (2014). Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues?. *Experimental Brain Research*, 232(7), 2221–2228.

- Culham, J. (n. d.). *Visual Areas in Human Occipital Cortex*. Retrieved 12. 9. 2021 from World Wide Web: [www.fmri4newbies.com/retinotopic-and-early-visual-areas](http://www.fmri4newbies.com/retinotopic-and-early-visual-areas)
- Dault, M. C., Frank, J. S., & Allard, F. (2001). Influence of a visuo-spatial, verbal and central executive working memory task on postural control. *Gait & Posture*, *14*(2), 110–116. doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00113-8
- Dault, M. C., Yardley, L., & Frank, J. S. (2003). Does articulation contribute to modifications of postural control during dual-task paradigms?. *Cognitive Brain Research*, *16*(3), 434–440. doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00058-2
- Deviterne, D., Gauchard, G. C., Jamet, M., Vançon, G., & Perrin, P. P. (2005). Added cognitive load through rotary auditory stimulation can improve the quality of postural control in the elderly. *Brain Research Bulletin*, *64*(6), 487–492. doi.org/10.1016/j.brainresbull.2004.10.007
- Dias, J. A., Borges, L., Mattos, D. J. D. S., Wentz, M. D., Domenech, S. C., Kauffmann, P., & Borges Junior, N. G. (2011). Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, *13*(5), 367–372. doi.org/10.5007/1980-0037.2011v13n5p367
- Donath, L., Kurz, E., Roth, R., Zahner, L., & Faude, O. (2015). Different ankle muscle coordination patterns and co-activation during quiet stance between young adults and seniors do not change after a bout of high intensity training. *BMC Geriatrics*, *15*(1). Retrieved 12. 11. 2022 from World Wide Web: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s12877-015-0017-0.pdf>
- Doyle, R. J., Hsiao-Wecksler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S. (2007). *Generalizability of center of pressure measures of quiet standing*. *Gait & Posture*, *25*(2), 166–171. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.03.004
- Duarte, M., & Freitas, S. M. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, *14*(3), 183–192. doi.org/10.1590/S1413-35552010000300003
- Duarte, M., & Zatsiorsky, V. M. (2002). Effects of body lean and visual information on the equilibrium maintenance during stance. *Experimental Brain Research*, *146*(1), 60–69. doi.org/10.1007/s00221-002-1154-1
- Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J., & Studenski, S. (1990). Functional reach: A new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology*, *45*(6), M192–M197. doi.org/10.1093/geronj/45.6.M192
- Ehsani, H., Mohler, J., Marlinski, V., Rashedi, E., & Toosizadeh, N. (2018). The influence of mechanical vibration on local and central balance control. *Journal of Biomechanics*, *71*, 59–66. doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.01.027

- Faber, M. J., Bosscher, R. J., & van Wieringen, P. C. (2006). Clinimetric properties of the Performance-Oriented Mobility Assessment. *Physical Therapy*, 86(7), 944–954. doi.org/10.1093/ptj/86.7.944
- Fink, A., & Litwin, S. (1995). *How to Measure Survey Reliability and Validity*. London: Sage Publications.
- Finley, J. M., Dhaher, Y. Y., & Perreault, E. J. (2012). Contributions of feed-forward and feedback strategies at the human ankle during control of unstable loads. *Experimental Brain Research*, 217(1), 53–66. doi.org/10.1007/s00221-011-2972-9
- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & Posture*, 27(2), 271–279. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.04.002
- Franěk, M., Rokyta, R., Šlamberová, R., & Vaculín, Š. (2008). Senzorické systémy. In R. Rokyta et al. (Eds.), *Fyziologie, 2. přepracované vydání* (pp. 312–353). Praha: ISV Nakladatelství.
- Frontera, W. R. (2017). Physiologic changes of the musculoskeletal system with aging: A brief review. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 28(4), 705–711. doi.org/10.1016/j.pmr.2017.06.004
- Hendl, J. (2012). *Přehled statistických metod zpracování dat: Analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál.
- Henry, M., & Baudry, S. (2019). Age-related changes in leg proprioception: Implications for postural control. *Journal of Neurophysiology*, 122(2), 525–538. doi.org/10.1152/jn.00067.2019
- Herman, T., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2011). Properties of the ‘Timed Up and Go’ Test: More than meets the eye. *Gerontology*, 57(3), 203–210. doi.org/10.1159/000314963
- Hollman, J. H., Kovash, F. M., Kubik, J. J., & Linbo, R. A. (2007). Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking. *Gait & Posture*, 26(1), 113–119. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.08.005
- Horak, F. B. (1987). Clinical measurement of postural control in adults. *Physical Therapy*, 67(12), 1881–1885. doi: 10.1093/ptj/67.12.1881
- 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(S2), ii7–ii11. doi.org/10.1093/ageing/afl077
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: Adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369–1381. doi.org/10.1152/jn.1986.55.6.1369

- Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 69(3), 294–305. doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.01.002
- Ingram, H. A., Van Donkelaar, P., Cole, J., Vercher, J. L., Gauthier, G. M., & Miall, R. C. (2000). The role of proprioception and attention in a visuomotor adaptation task. *Experimental Brain Research*, 132(1), 114–126. doi.org/10.1007/s002219900322
- Jamet, M., Deviterne, D., Gauchard, G. C., Vançon, G., & Perrin, P. P. (2007). Age-related part taken by attentional cognitive processes in standing postural control in a dual-task context. *Gait & Posture*, 25(2), 179–184. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.03.006
- Janda, V., Herbenová, A., Jandová, J., & Pavlů, D. (2004). *Svalové funkční testy*. Praha: Grada Publishing.
- Jeka, J. J., Allison, L. K., & Kiemel, T. (2010). The dynamics of visual reweighting in healthy and fall-prone older adults. *Journal of Motor Behavior*, 42(4), 197–208. doi.org/10.1080/00222895.2010.481693
- Ji, L., & Zhai, S. (2018). Aging and the peripheral vestibular system. *Journal of Otology*, 13(4), 138–140. doi.org/10.1016/j.joto.2018.11.006
- Jønsson, L. R., Kristensen, M. T., Tibaek, S., Andersen, C. W., & Juhl, C. (2011). Intra- and interrater reliability and agreement of the Danish version of the Dynamic Gait Index in older people with balance impairments. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(10), 1630–1635. doi.org/10.1016/j.apmr.2011.04.020
- Kaplan, F. S., Nixon, J. E., Reitz, M., Rindfleisch, L., & Tucker, J. (1985). Age-related changes in proprioception and sensation of joint position. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 56(1), 72–74. doi.org/10.3109/17453678508992984
- Kapteyn, T. S., Bles, W., Njikiktjien, Ch. J., Kodde, L., Massen, C. H., & Mol, J. M. F. (1983). Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. *Société internationale de posturographie*, 24(7), 321–326.
- Kerr, B., Condon, S. M., & McDonald, L. A. (1985). Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(5), 617–622.
- Kirby, R. L., Price, N. A., & MacLeod, D. A. (1987). The influence of foot position on standing balance. *Journal of Biomechanics*, 20(4), 423–427. doi.org/10.1016/0021-9290(87)90049-2
- Kolář, P., Lewit, K., & Dyrhonová, O. (2009). Vyšetřovací postupy zaměřené na funkci pohybové soustavy. In P. Kolář, *Rehabilitace v klinické praxi* (pp. 25–179). Praha: Galén.

- Kwasnica, C. (2011) Posturography. In: J. S. Kreutzer., J. DeLuca, B. Caplan (Eds.), *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. New York: Springer. Retrieved 8. 2. 2021 from the World Wide Web: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-79948-3\\_63#howtocite](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-79948-3_63#howtocite)
- Lafond, D., Corriveau, H., Hébert, R., & Prince, F. (2004). Intrasession reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(6), 896–901. doi.org/10.1016/j.apmr.2003.08.089
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological Basis of Movement*. Champaign: Human Kinetics.
- Le Clair, K., & Riach, C. (1996). Postural stability measures: What to measure and for how long. *Clinical Biomechanics*, 11(3), 176–178. doi.org/10.1016/0268-0033(95)00027-5
- Letz, R., & Gerr, F. (1995). Standing steadiness measurements: Empirical selection of testing protocol and outcome measures. *Neurotoxicology and Teratology*, 17(6), 611–616. doi.org/10.1016/0892-0362(95)00023-2
- Li, Z., Liang, Y. Y., Wang, L., Sheng, J., & Ma, S. J. (2016). Reliability and validity of center of pressure measures for balance assessment in older adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(4), 1364–1367. doi.org/10.1589/jpts.28.1364
- Looker, A. C., Isfahani, N. S., Fan, B., & Shepherd, J. A. (2017). Trends in osteoporosis and low bone mass in older US adults, 2005–2006 through 2013–2014. *Osteoporosis International*, 28(6), 1979–1988.
- Lord, S. R., Clark, R. D., & Webster, I. W. (1991). Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *Journal of Gerontology*, 46(3), M69-M76. doi.org/10.1093/geronj/46.3.M69
- Lord, S. R., Dayhew, J., & Howland, A. (2002). Multifocal glasses impair edge-contrast sensitivity and depth perception and increase the risk of falls in older people. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50(11), 1760–1766. doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50502.x
- Lord, S. R., & Ward, J. A. (1994). Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age and Ageing*, 23(6), 452–460. doi.org/10.1093/ageing/23.6.452
- Mancini, M., & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 46(2), 239–248.
- Mareš, J. (2005). Sluch a rovnováha. In Ganong, W. F. (Ed.), *Přehled lékařské fyziologie* (pp. 177–190). Praha: Galén.

- Martinová, M. (2018). *Kvalitativní a kvantitativní metody, význam standardizace*. Studyblue. Retrieved 29. 8. 2020 from the World Wide Web: <https://www.studyblue.com/#flashcard/review/11055637>
- Masud, T., & Morris, R. O. (2001). Epidemiology of falls. *Age and Ageing, 30*(suppl\_4), 3–7.
- Maylor, E. A., Allison, S., & Wing, A. M. (2001). Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. *British Journal of Psychology, 92*(2), 319–338. doi.org/10.1348/000712601162211
- Maylor, E. A., & Wing, A. M. (1996). Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 51*(3), P143–P154. doi.org/10.1093/geronb/51B.3.P143
- Melzer, I., Benjuya, N., & Kaplanski, J. (2001). Age-related changes of postural control: Effect of cognitive tasks. *Gerontology, 47*(4), 189–194. doi.org/10.1159/000052797
- Middleton, J., Sinclair, P., & Patton, R. (1999). Accuracy of centre of pressure measurement using a piezoelectric force platform. *Clinical Biomechanics, 14*(5), 357–360. doi.org/10.1016/S0268-0033(98)00079-5
- Mitra, S., & Fraizer, E. V. (2004). Effects of explicit sway-minimization on postural-suprapostural dual-task performance. *Human Movement Science, 23*(1), 1–20. doi.org/10.1016/j.humov.2004.03.003
- Moghadam, M., Ashayeri, H., Salavati, M., Sarafzadeh, J., Taghipoor, K. D., Saeedi, A., & Salehi, R. (2011). Reliability of center of pressure measures of postural stability in healthy older adults: Effects of postural task difficulty and cognitive load. *Gait & Posture, 33*(4), 651–655. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.02.016
- Mouzat, A., Dabonneville, M., & Bertrand, P. (2004). The effect of feet position on orthostatic posture in a female sample group. *Neuroscience Letters, 365*(2), 79–82. doi.org/10.1016/j.neulet.2004.04.062
- Nagymáté, G., Orlovits, Z., & Kiss, R. M. (2018). Reliability analysis of a sensitive and independent stabilometry parameter set. *PloS One, 13*(4). Retrieved 27. 3. 2021 from the World Wide Web: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0195995&type=printable>
- Nashner, L. M. (1997). Practical biomechanics and physiology of balance. In G. P. Jacobson, G. W. Newman, J. M. Kartush (Eds.), *Handbook of Balance Function Testing* (pp. 261–279). London: Thomson Delmar Learning.
- Nelson, M. N., & Ross, L. E. (1974). Effects of masking tasks on differential eyelid conditioning: A distinction between knowledge of stimulus contingencies and

- attentional or cognitive activities involving them. *Journal of Experimental Psychology*, 102(1), 1–9. doi.org/10.1037/h0035682
- Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B. L., Loftus, G. R., & Wagenaar, W. A. (2012). *Psychologie Atkinsonové a Hilgarda*. Praha: Portál, 2012.
- Opavský, J. (2003). *Neurologické vyšetření v rehabilitaci pro fyzioterapeuty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Otová, B., & Kalvach, Z. (2004). Involuce. In Z. Kalvach, Z. Zadák, R. Jiráček, H. Zavázalová, P. Suchrda (Eds.), *Geriatric a Gerontologie* (pp. 67–73). Praha: Grada Publishing.
- Ozdemir, R. A., Contreras-Vidal, J. L., & Paloski, W. H. (2018). Cortical control of upright stance in elderly. *Mechanisms of Ageing and Development*, 169, 19–31. doi.org/10.1016/j.mad.2017.12.004
- Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & Posture*, 18(1), 29–34. doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00138-8
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait Analysis. Normal and Pathological Function*. Thorofare: SLACK Incorporated.
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118. doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097
- Plháková, A. (2007). *Učebnice obecné psychologie*. Praha: Academia.
- Poulain, I., & Giraudet, G. (2008). Age-related changes of visual contribution in posture control. *Gait & posture*, 27(1), 1–7. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.02.007
- Pyykko, I., Jantti, P., & Aalto, H. (1990). Postural control in elderly subjects. *Age and Ageing*, 19(3), 215–221. doi.org/10.1093/ageing/19.3.215
- Resch, J. E., May, B., Tomporowski, P. D., & Ferrara, M. S. (2011). Balance performance with a cognitive task: A continuation of the dual-task testing paradigm. *Journal of Athletic Training*, 46(2), 170–175. doi.org/10.4085/1062-6050-46.2.170
- Richer, N., Saunders, D., Polskaia, N., & Lajoie, Y. (2017). The effects of attentional focus and cognitive tasks on postural sway may be the result of automaticity. *Gait & Posture*, 54, 45–49. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.02.022
- Riley, M. A., Baker, A. A., Schmit, J. M., & Weaver, E. (2005). Effects of visual and auditory short-term memory tasks on the spatiotemporal dynamics and variability of postural sway. *Journal of Motor Behavior*, 37(4), 311–324. doi.org/10.3200/JMBR.37.4.311-324
- Romero, S., Bishop, M. D., Velozo, C. A., & Light, K. (2011). Minimum detectable change of the Berg Balance Scale and Dynamic Gait Index in older persons at risk for falling.

*Journal of Geriatric Physical Therapy*, 34(3), 131–137. doi: 10.1519/JPT.0b013e3182048006

- Ross, L. E., & Nelson, M. N. (1973). The role of awareness in differential conditioning. *Psychophysiology*, 10(1), 91–94. doi.org/10.1111/j.1469-8986.1973.tb01089.x
- Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B. (2010). The test–retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions – A systematic review of the literature. *Gait & Posture*, 32(4), 436–445. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.09.012
- Růžička, E., Kalvach, Z., Lischkeová, B., Novotná, E., & Rychlý, L. (2008). Syndrom instability s pády. In Z. Kalvach (Ed.), *Geriatrické syndromy a geriatrický pacient* (pp. 168–194). Praha: Grada Publishing.
- Růžička, E., Kalvach, Z., Lischkeová, B., Rychlý, L., & Vrabec, P. (2004). Závratě, instabilita a pády ve stáří. In Z. Kalvach, Z. Zadák, R. Jiráček, H. Zavázalová, P. Sucharda (Eds.), *Geriatric a Gerontologie* (pp. 207–225). Praha: Grada Publishing.
- Sample, R. B., Jackson, K., Kinney, A. L., Diestelkamp, W. S., Reinert, S. S., & Bigelow, K. E. (2016). Manual and cognitive dual tasks contribute to fall-risk differentiation in posturography measures. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(6), 541–547. doi.org/10.1123/jab.2016-0038
- Sanchez-Valdes, D., Alvarez-Alvarez, A., & Trivino, G. (2015). Walking pattern classification using a granular linguistic analysis. *Applied Soft Computing*, 33, 100–113.
- Santos, M. J., Kanekar, N., & Aruin, A. S. (2010). The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 1. Electromyographic analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(3), 388–397. doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.06.006
- Scoppa, F., Capra, R., Gallamini, M., & Shiffer, R. (2013). Clinical stabilometry standardization: Basic definitions–acquisition interval–sampling frequency. *Gait & Posture*, 37(2), 290–292. doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.009
- Scoppa, F., Gallamini, M., Belloni, G., & Messina, G. (2017). Clinical stabilometry standardization: Feet position in the stabilometric assessment of postural stability. *Acta Medica Mediterranea*, 33, 707–713. doi.org/10.19193/0393-6384\_2017\_4\_105
- Shaffer, S. W., & Harrison, A. L. (2007). Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Physical Therapy*, 87(2), 193–207. doi.org/10.2522/ptj.20060083
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: The effect of sensory context. *Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(1), M10–M16. doi.org/10.1093/gerona/55.1.M10



- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2001). *Motor Control. Theory and Practical Applications*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M., Kerns, K. A., & Baldwin, M. (1997). The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 52(4), M232–M240. doi.org/10.1093/gerona/52A.4.M232
- Schmid, M., Conforto, S., Camomilla, V., Cappozzo, A., & D'alessio, T. (2002). The sensitivity of posturographic parameters to acquisition settings. *Medical Engineering & Physics*, 24(9), 623–631. doi.org/10.1016/S1350-4533(02)00046-2
- Simoneau, M., Teasdale, N., Bourdin, C., Bard, C., Fleury, M., & Nougier, V. (1999). Aging and postural control: Postural perturbations caused by changing the visual anchor. *Journal of the American Geriatrics Society*, 47(2), 235–240. doi.org/10.1111/j.1532-5415.1999.tb04584.x
- Speers, R. A., Kuo, A. D., & Horak, F. B. (2002). Contributions of altered sensation and feedback responses to changes in coordination of postural control due to aging. *Gait & Posture*, 16(1), 20–30. doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00003-6
- Swan, L., Otani, H., Loubert, P. V., Sheffert, S. M., & Dunbar, G. L. (2004). Improving balance by performing a secondary cognitive task. *British Journal of Psychology*, 95(1), 31–40. doi.org/10.1348/000712604322779442
- Swanenburg, J., de Bruin, E. D., Favero, K., Uebelhart, D., & Mulder, T. (2008). The reliability of postural balance measures in single and dual tasking in elderly fallers and non-fallers. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 9(1). Retrieved 10. 5. 2021 from the World Wide Web: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/1471-2474-9-162.pdf>
- Toosizadeh, N., Ehsani, H., Miramonte, M., & Mohler, J. (2018). Proprioceptive impairments in high fall risk older adults: The effect of mechanical calf vibration on postural balance. *BioMedical Engineering OnLine*, 17(1). Retrieved 12. 11. 2022 from the World Wide Web: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-018-0482-8>
- Topinková, E. (2010). *Geriatric pro praxi*. Praha: Galén.
- Van Impe, A., Coxon, J. P., Goble, D. J., Wenderoth, N., & Swinnen, S. P. (2011). Age-related changes in brain activation underlying single-and dual-task performance: Visuomanual drawing and mental arithmetic. *Neuropsychologia*, 49(9), 2400–2409.
- Vařeka, I., & Vařeková, R. (2009). *Kineziologie nohy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Velé, F. (2006). *Kineziologie. Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Praha: Triton.

- Visser, J. E., Carpenter, M. G., van der Kooij, H., & Bloem, B. R. (2008). The clinical utility of posturography. *Clinical Neurophysiology*, *119*(11), 2424–2436. doi.org/10.1016/j.clinph.2008.07.220
- Vuillerme, N., Nougier, V., & Camicioli, R. (2002). Veering in human locomotion: Modulatory effect of attention. *Neuroscience Letters*, *331*(3), 175–178. doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00876-5
- Wahl, H. W., Schilling, O., Oswald, F., & Heyl, V. (1999). Psychosocial consequences of age-related visual impairment: Comparison with mobility-impaired older adults and long-term outcome. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *54*(5), P304–P316. doi.org/10.1093/geronb/54B.5.P304
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, *3*(4), 193–214. doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002): Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, *16*(1), 2002, 1–14. doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00156-4
- World Health Organization (2007). *WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age*. Geneva: World Health Organization.
- Yeh, T. T., Cluff, T., & Balasubramaniam, R. (2014). Visual reliance for balance control in older adults persists when visual information is disrupted by artificial feedback delays. *PloS One*, *9*(3). Retrieved 12. 11. 2022 from the World Wide Web: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0091554>
- Zwergal, A., Linn, J., Xiong, G., Brandt, T., Strupp, M., & Jahn, K. (2012). Aging of human supraspinal locomotor and postural control in fMRI. *Neurobiology of Aging*, *33*(6), 1073–1084. doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2010.09.022

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

2D – dvoudimenzionální

3D – třídimenzionální

AP – anteroposteriorní

CNS – centrální nervová soustava

COG – center of gravity

COM – center of mass (těžiště)

COP – center of pressure

cVEMP – cervikální vestibulární evokované myogenní potenciály

DK – dolní končetina

DKK – dolní končetiny

EMG – elektromyografie

F – síla

GRF – ground reaction force

H – hypotéza

HIT – head impulse testing

HKK – horní končetiny

ICC – koeficient vnitřní korelace (interclass correlation coefficient)

LDD – rozdíl v rozložení zatížení dolních končetin (load distribution difference)

LOS – limity stability (limits of stability)

M – moment síly

ML – mediolaterální

MMSE – Mini-Mental State Examination (Krátký test kognitivních funkcí)

MoCap – snímání pohybu (motion capture)

NS – bez statistické významnosti

PS-DD – soubor seniorů s poruchou rovnováhy z domovů pro seniory

SD – směrodatná odchylka (standard deviation)

TS – testovací situace

oVEMP – okulární vestibulární evokované myogenní potenciály

$\tilde{x}$  – medián

ZAS – soubor zdravých aktivních seniorů

ZMJ – soubor zdravých mladých jedinců

ZS-DD – soubor zdravých seniorů z domovů pro seniory

# 11 PŘÍLOHY DISERTAČNÍ PRÁCE

## Příloha 1. Vyjádření Etické komise FTK



Fakulta  
tělesné kultury

Genius loci ...

### 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 23.4.2020 byl projekt disertační práce

autorky: **Mgr. et Bc. Mirka Musilová**

s názvem **Využití duálních úloh při hodnocení posturální kontroly**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **54/2020**

dne: **27. 4. 2020**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnicemi 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

## Příloha 2. Informovaný souhlas

### Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu týkajícím se hodnocení úrovně rovnováhy během duálních úkolů

TYP PRÁCE	NÁZEV PRÁCE	AUTORKA PRÁCE	VEDOUcí PRÁCE
Disertační práce	Využití duálních úloh při hodnocení posturální kontroly	Mgr. et Bc. Mirka Musilová	prof. RNDr. Miroslav Janura, Dr.

Práce je realizována na **Fakultě tělesné kultury UP v Olomouci**.

Já, níže podepsaný/á, souhlasím se svou účastí ve studii týkající se **hodnocení úrovně rovnováhy během duálních úkolů**. Prohlašuji, že jsem byl/a podrobně informován/a o cíli studie a o jejích postupech. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Jsem si vědom/a, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit nebo účast na studii ukončit. Moje účast ve studii je dobrovolná.

Při zařazení do výzkumu budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů.

Porozuměl/a jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z tohoto výzkumu. Výsledky výzkumu budou použity pouze pro realizaci tří výše uvedených závěrečných prací a pro výstupy z nich (odborné články, příspěvky na odborných konferencích apod.).

Datum:

Jméno a příjmení:

Podpis:

## Příloha 3. Anamnestický formulář

### Anamnestický dotazník a základní vyšetření rovnováhy a kognitivních funkcí

Datum vyšetření:

Kdo vyšetřoval:

#### Základní údaje

Kód probanda:

Výzkumný soubor:

Ročník narození (věk):

Pohlaví:

#### Kontaktní údaje

Mobil nebo e-mail:

### Anamnéza – 1. část:

Kontrolní otázky pro zařazení do výzkumu

Pád během posledního půlroku (ano/ne + kolikrát):

Kompenzační pomůcky nutné pro chůzi (+ pro třetí VS specifikovat):

Operace/úraz na dolních končetinách během posledního roku (ano/ne) + závažnost úrazu:

Neurologické onemocnění spjaté s poruchou rovnováhy (ano/ne):

Akutní neurologické onemocnění (ano/ne):

Amputace (ano/ne):

Testy na rovnováhu (výdrž 30 s) a kognitivní funkce:

Rombergův test II

Mini Mental State Examination – výsledek:

### Anamnéza – 2. část

Sociální anamnéza

Dosažené vzdělání:

Zaměstnání:

Starobní důchod/DI/DIČ:

Pravidelná pohybová aktivita (ano/ne):

Jaká, jak často:

Osobní anamnéza:

Onemocnění (ano/ne):

Jaká a od kterého roku:

Užívané léky:

Úrazy nebo operace dolních končetin či páteře (ano/ne):

Jaké + rok:

Bolesti v pohybovém systému (ano/ne):

Jaké a jak dlouho:

Závratě nebo poruchy rovnováhy (ano/ne, jak často, při jakých situacích):

Pády v minulosti (ano/ne):

Pokud ano, kdy a při jaké činnosti, průběh pádu:

Úrazy způsobené následkem pádu: