

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2017

**VERONIKA
KOTLOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

**Metody hodnocení posturální stability stoje
pomocí stabilometrické plošiny**

**Methods for evaluation of postural stability
by stabilometric platforms**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor bakalářské práce: Veronika Kotolová

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D

Kladno 2017

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2016/2017

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Veronika Kotolová**
Obor: Biomedicínský technik
Téma: **Metody hodnocení posturální stability stoje pomocí stabilometrické plošiny**
Téma anglicky: Methods for evaluation of postural stability by stabilometric platforms

Zásady pro vypracování:

Pro stabilometrický systém navrhnete na základě rešerše metody hodnocení posturální stability stoje. Navržené metody upravte pro hodnocení dat získaných stabilometrickým systémem. Metody implementujte v programovém prostředí MATLAB a experimentálně ověřte pro minimálně deset subjektů. Výsledky jednotlivých metod statisticky zpracujte a porovnejte. Vytvořte metodiku měření a hodnocení posturální stability navrženými metodami.

Seznam odborné literatury:

- [1] Daniel M., Experimentální biomechanika, ed. skripta, ČVUT, 2008, ISBN 9788001039823
- [2] Hlinecká, J., Kačírková, K., Šíbllová, H., Vyšetřovací metody, ed. Učební text, SZŠ Příbram, 1994, ISBN no
- [3] Tichý, M., Funkční diagnostika pohybového aparátu, ed. 1. vydání, Triton, 2001, ISBN 80-7254-022-X
- [4] LIBOR KONÍČEK, Počítačem podporované experimenty v přírodních vědách, ed. 1, Ostravská univerzita v Ostravě, 2006, ISBN

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: doc. Ing. Patrik Kutílek, M.Sc., Ph.D.

Konzultant: Mgr. Ondřej Čákrť

vedoucí katedry / pracoviště

děkan

V Kladně dne 20.02.2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Metody hodnocení posturální stability stoje pomocí stabilometrické plošiny“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně

.....
Veronika Kotolová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, MSc., Ph.D., za vstřícnost, ochotu, čas a rady, které mi poskytl při vedení práce.

ABSTRAKT

Metody hodnocení posturální stability stoje pomocí stabilometrické plošiny

Cílem práce bylo navržení metod hodnocení dat ze stabilometrického systému vhodných pro klinickou praxi. Byly použity metody sloužící pro hodnocení dat v časové oblasti, frekvenční oblasti a metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin. Navržené metody byly implementovány do prostředí MatLab a byla jimi zpracována data z měření 137 subjektů, v rámci čehož jsou metody a navržený SW ověřeny. Vybrané parametry byly statisticky vyhodnoceny pro skupinu žen 60-69 let a 70-79 let, a to pro stoj na tvrdé a měkké podložce při zavřených a otevřených očích. Dle Shapiro-Wilkova testu nebylo dokázáno normální rozdělení dat, proto byly do výběru statistických metod použity Wilcoxonův nepárový test a Spearmanův korelační koeficient. Celkem bylo provedeno sedm různých vyhodnocení, která dokázala existenci statisticky významných výsledků především pro stoj na měkké podložce při otevřených očích. Naopak měření při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích nemá větší statistický význam. Byly zjištěny parametry, které dávají v souvislost, zda subjekt prodělal či neprodělal pád. Na základě testování a ověření navržených metod je stanoven postup měření a hodnocení posturální stability.

Klíčová slova

metody hodnocení, posturální stabilita, stabilometrická plošina

ABSTRACT

Methods for evaluation of postural stability by stabilometric platforms

The aim of this paper was to propose methods for evaluating data from stabilometric systems suitable for clinical practice. The proposed methods were for evaluating data in time domain, frequency domain and for evaluating mutual development of measured quantities. Then, the methods were implemented into the MatLab environment and were used for processing measured data from 137 subjects. The selected parameters were statistically evaluated for a group of women aged 60-69 and 70-79 years, for stance on a hard and soft mat with closed and open eyes. According to Shapiro-Wilkow's test, normal distribution of data was not proven, so Wilcoxon's unpaired test and Spearman's correlation coefficient were used in the selection of statistical methods. Altogether, seven different evaluations were carried out, which demonstrated the existence of statistically significant results especially for standing on a soft mat with open eyes. Conversely, measuring when standing on a hard pad with open eyes is of no statistical significance. Parameters have been identified to determine whether a subject has experienced or failed to fall. Based on the testing and verification of proposed methods, a procedure for the measurement and assessment of postural stability is defined.

Keywords

methods for evaluation, postural stability, stabilometric platforms

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Obsah | 7 |
| Seznam symbolů a zkratk..... | 9 |
| 1 Úvod..... | 10 |
| 1.1 Přehled způsobů měření posturální stability stoje..... | 10 |
| 1.2 Cíle práce | 11 |
| 2 Metody hodnocení dat měření posturální stability stoje..... | 12 |
| 2.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti..... | 12 |
| 2.2 Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti..... | 13 |
| 2.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin | 14 |
| 2.4 Závěr kapitoly | 21 |
| 3 Metody záznamu a předzpracování dat | 22 |
| 3.1 Popis měřicího systému..... | 22 |
| 3.2 Předzpracování naměřených dat | 24 |
| 3.3 Určení rychlosti a zrychlení | 25 |
| 3.4 Závěr kapitoly | 25 |
| 4 Aplikace metod hodnocení posturální stability stoje | 26 |
| 4.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti..... | 26 |
| 4.2 Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti..... | 28 |
| 4.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin | 29 |
| 4.4 Závěr kapitoly | 32 |
| 5 Experimentální měření a výsledky testování návrhů..... | 33 |
| 5.1 Postup měření a hodnocení posturální stability | 33 |
| 5.2 Volba podmínek měření a měřených subjektů..... | 34 |
| 5.3 Hodnocené parametry | 35 |
| 5.4 Statistické hodnocení dat..... | 36 |
| 5.4.1 Statistické vyhodnocení hodnot parametrů věkových skupin..... | 36 |
| 5.4.2 Test rozdílu mezi věkovými skupinami..... | 38 |
| 5.4.3 Korelace hodnot parametrů | 39 |
| 5.4.4 Statistické vyhodnocení hodnot parametrů pádové a nepádové skupiny . | 41 |
| 5.4.5 Test rozdílu mezi pádovou a nepádovou skupinou..... | 42 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.4.6 | Korelace hodnocených parametrů s počtem pádů | 45 |
| 5.5 | Závěr kapitoly | 46 |
| 6 | Diskuse..... | 47 |
| 7 | Závěr..... | 52 |
| 7.1 | Naplnění cílů práce | 52 |
| 7.2 | Perspektiva dalšího řešení | 53 |
| | Seznam použité literatury | 54 |
| | Příloha A: Obsah přiloženého CD..... | 56 |

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

| Symbol s jednotkou | Anglický význam | Český význam |
|--|---|--|
| AP [mm] | CoP deviation in the anteroposterior direction | výchylka CoP v anteroposteriorním směru |
| D [mm] | | rozdíl výchylek CoP v ML a AP směru v daném časovém okamžiku |
| f [-] | | kumulativní četnost |
| fs [Hz] | sampling rate | vzorkovací frekvence |
| maxd [mm] | maximum angle corresponding to maxr | maximální úhel odpovídající maximální vzdálenosti |
| maxr [mm] | maximum distance in the interval | maximální vzdálenost |
| mean [mm] | mean | střední hodnota |
| ML [mm] | CoP deviation in the mediolateralis direction | výchylka CoP v mediolaterálním směru |
| n [-] | number of samples | počet vzorků |
| p [-] | probability | pravděpodobnost |
| PSD [$\text{mm}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$] | power spectral density | výkonová spektrální hustota |
| ROM [mm] | range of motion | rozsah pohybu |
| rms [mm] | root mean square | |
| SD [mm] | standard deviation | směrodatná odchylka |
| T [s] | trial duration | doba trvání záznamu |

Seznam zkratek

| Zkratka | Anglický význam | Český význam |
|---------|------------------------------|-------------------------------|
| cov | covariance | kovariance |
| eig | eigenvalue | vlastní číslo |
| EC | eyes closed | zavřené oči |
| EO | eyes open | otevřené oči |
| MEC | | měkká podložka + zavřené oči |
| MEO | | měkká podložka + otevřené oči |
| prod | product | součin |
| svd | singular value decomposition | |
| val | value | hodnota |
| vec | vector | vektor |

1 Úvod

Schopnost udržet posturální stabilitu těla má souvislost s celou řadou onemocnění, poúrazovými či po nádorovými stavy, a také se zásadně mění s přibývajícím věkem. Kvantifikace posturální stability je tedy velkým přínosem pro klinickou praxi. Při současných možnostech přístrojové techniky je možné měřit posturální stabilitu velmi přesně a objektivně. K umožnění interpretace a porovnání měření se používají různé metody hodnocení, jejichž výstupy v podobě kvantitativních ukazatelů či grafů již přímo vypovídají o úrovni posturální stability. To se s výhodou využívá pro diagnostické, terapeutické či rehabilitační účely v lékařství, pro účely sportovní biomechaniky a v neposlední řadě také pro predikci rizika pádů, což má velký význam především pro kvalitu života starších osob.

1.1 Přehled způsobů měření posturální stability stoje

K měření posturální stability stoje se nabízí několik možností, přičemž nejčastější metodika měření pro hodnocení posturální stability je tzv. Rombergův test uvedený např. v článku Hain, T. (2016). Jedná se o neurologické vyšetření spočívající obvykle ve vykonání čtyř definovaných postojů při otevřených a zavřených očích, přičemž vyšetřující osoba hodnotí stabilitu stoje pozorováním, nebo je použito systému záznamu pohybu pro kvantifikaci stability stoje. Přestože tato metoda může poskytnout informace o kvalitě stability pacienta, jedná se v případě hodnocení stability stoje pozorováním o subjektivní kvalitativní hodnocení. V případě měřících systémů měření obvykle poskytuje přesná data.

Z hlediska funkčního testování se využívá také tzv. Balance Error Scoring System (BESS) popsany např. v článku Broglio et al. (2009). Tento test byl původně vyvinut pro vyhodnocení stability sportovců, jež utrpěli otřes mozku, ovšem je již často používán i v jiných oblastech, neboť nevyžaduje v základní variantě žádné drahé zařízení ani vysoce specializovaně zaškolený personál. Přestože je tato metoda obecně akceptována, jejím velkým nedostatkem je fakt, že postrádá test-retest reliabilitu. V tomto ohledu se základní Rombergův test jeví jako vhodnější.

Dokonalejší a spolehlivější metodou funkčního testování je pak tzv. The Balance Evaluation Systems Test (BESTest), jíž se zabývá v článku např. Horak et al. (2009). Metoda byla vyvinuta jako užitečný nástroj pro fyzioterapeuty při definici systémů posturální kontroly, jež jsou příčinou zhoršené schopnosti zachovat posturální stabilitu. BESTest vyžaduje zaškolení testujících osob, ovšem i přesto se stále jedná v základní verzi o subjektivní pozorování a hodnocení. Samozřejmě, stejně jako u předcházejících testů, jsou testovány metody kvantitativního hodnocení stability také během BESTestu.

O výše uvedených způsobech měření posturální stability můžeme souhrnně tvrdit, že ač mají jistě některé výhodné vlastnosti, jsou založeny v základních verzích na subjektivním pozorování a hodnotí se zpravidla podle získaného skóre z předem dané stupnice. Z hlediska současných požadavků na co nejobektivnější metody a výsledky jsou tyto vlastnosti podstatnými negativy. Proto se metodika zachovává, ale do klinické praxe se zavádí systémy umožňující kvantitativní hodnocení.

Při rozvoji přístrojových metod, především systémů záznamu pohybu, tzv. motion capture (MoCap) systémů, jsou dnes pro měření posturální stability v popředí statické nebo dynamické plošiny. Obvykle se jedná o siloměrné desky mající určitý počet siloměrných senzorů, pomocí kterých je určena velikost výsledné kontaktní síly. Jako rozšířené výrobce těchto plošin lze jmenovat např. firmu Nintendo a Kistler. Měření na plošinách již není závislé na subjektivním pozorování, naopak se jedná o maximálně objektivní způsob měření, což je společně s poskytováním exaktních a validních dat hlavním důvodem jejich současné dominance nejen v klinické praxi. Na naměřená data lze aplikovat nejrůznější metody hodnocení, a tedy se nabízí možnost široké analýzy. Některé metody jsou zavedeny do praxe, ale mají určitá omezení, jak pokud jde o měřené subjekty tak technické nedostatky. Jiné metody jsou vhodnější např. z pohledu přesnější diagnostiky, ale do praxe nejsou zatím zavedeny.

1.2 Cíle práce

Jelikož je udržení posturální stability schopnost, která bývá omezována celou řadou aspektů, ať už se jedná o některá typická onemocnění, nebo o přibývajícím věkem, je velký zájem jí kvantifikovat. K měření posturální stability se dnes nejčastěji používají stabilometrické plošiny, které dávají přesnou informaci o výchylkách CoP. Získaná naměřená data však sama o sobě nemají příliš vypovídající hodnotu, proto je třeba data dále zpracovat. Právě navržení vhodných, především nových, metod hodnocení pro klinickou praxi je pak cílem této bakalářské práce. Navržené metody budou implementovány do prostředí MatLab a upraveny pro hodnocení dat ze stabilometrického systému. Na základě testování a ověření navržených metod bude stanoven postup měření a hodnocení posturální stability navrženými metodami. Vytvořeným skriptem poté budou zpracována a vyhodnocena data poskytnutá z Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Nakonec bude provedeno statistické vyhodnocení dosažených výsledků.

2 Metody hodnocení dat měření posturální stability stoje

V moderním směřování záznamu dat různými přístrojovými metodami je požadavek na co nejširší možnost analýzy naměřených dat, k čemuž se používá řada více či méně rozšířených metod hodnocení. Metody hodnocení dat se vedle výpočetního algoritmu liší také svou robustností a rychlostí výpočtu. Podstatné je však, že výsledkem jsou vždy kvantitativní ukazatele, jež můžeme vzájemně porovnávat. V nejzákladnější rovině můžeme metody hodnocení rozdělit na metody pro hodnocení dat v časové oblasti, frekvenční oblasti a metody pro hodnocení vzájemné závislosti dvou či více měřených veličin. Níže popíši metody, které se ukazují jako vhodné pro mé využití, a rozdělím je podle principu zpracování měřených dat.

2.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti

Pokud jde o metody hodnocení v časové oblasti v 1D prostoru, tj. jednorozměrných dat, lze použít běžné statistické charakteristiky, jako jsou střední hodnota nebo kvartily. Dalšími parametry jsou například ROM či rychlost změny vývoje měřené veličiny. Mezi méně zavedené metody pak patří tzv. root mean square (RMS) metoda, která vypovídá o efektivní hodnotě velikosti měnící se veličiny. Souhrn rešerší zjištěných metod je uveden v Tabulce 2.1 a, b.

Tabulka 2.1 a: Přehled parametrů pro hodnocení dat v časové oblasti.

| Původní název parametru | Zkratka | Výpočet | Zdroj |
|-------------------------|----------------------------------|--|------------------------|
| Mean displacement | MD | mean(ML), mean(AP) | Schubert et al. (2012) |
| SD of displacement | SD | SD(ML), SD(AP) | Schubert et al. (2012) |
| Median | Median | median(ML), median(AP) | Schubert et al. (2012) |
| Quartile | Q ₁ Q ₃ | f(ML) · 0,25, f(AP) · 0,25 f(ML) · 0,75, f(AP) · 0,75 | Schubert et al. (2012) |
| Maximum | Max | max(ML), max(AP) | Schubert et al. (2012) |
| Minimum | Min | min(ML), min(AP) | Schubert et al. (2012) |

Tabulka 2.1 b: Přehled parametrů pro hodnocení dat v časové oblasti.

| Původní název parametru | Zkratka | Výpočet | Zdroj |
|-----------------------------|--------------------|--|--|
| Range of displacement (ROM) | rangeML; rangeA | max(ML)-min(ML), max(AP)-min(AP) | Schubert et al. (2012) Vlčková (2016) |
| Path | pathML; pathAP | $\sum ML , \sum AP $ | Schubert et al. (2012) |
| Mean path velocity | velML; velAP | $\frac{\sum CoP \cdot f_s}{\text{pathML}}$, $\frac{\sum CoP \cdot f_s}{\text{pathAP}}$ | Schubert et al. (2012) Vlčková (2016) |
| Root mean square | rmsML; rmsAP | $\sqrt{\sum \frac{ML^2}{\text{pathML}}}$, $\sqrt{\sum \frac{AP^2}{\text{pathAP}}}$ | Rocchi et al. (2005) |

2.2 Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti

Pro metody hodnocení ve frekvenční oblasti je obecným základem Fourierova transformace, díky níž je možné sledovat závislost veličin nikoliv na čase, ale na frekvenci. Hodnocené parametry jsou často ve vztahu s výkonovou spektrální hustotou, která je definována jako výkon připadající na jednotkový kmitočtový interval. Přehled metod hodnocení, které jsou aplikovány pro hodnocení dat ze stabilometrických plošin, je prezentován v Tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: Přehled parametrů pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti.

| Původní název parametru | Zkratka | Výpočet | Zdroj |
|--|-----------------|--|------------------------|
| Mean frequency | fmML; fmAP | $\frac{MV}{2\pi} \times MD$ | Schubert et al. (2012) |
| Median frequency | f50ML; f50AP | $y = y - \text{mean}(y)$, bandpower(y, f _s , 50+[-10 10]) | Schubert et al. (2012) |
| Frequency band that contains up to 80 % of the PSD | f80ML; f80AP | bandpower(y, f _s , 80+[-10 10]) | Schubert et al. (2012) |
| Frequency band that contains up to 95 % of the PSD | f95ML; f95AP | bandpower(y, f _s , 95+[-10 10]) | Schubert et al. (2012) |
| Frequency band that contains up to 99 % of the PSD | f99ML; f99AP | bandpower(y, f _s , 99+[-10 10]) | Schubert et al. (2012) |

2.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin

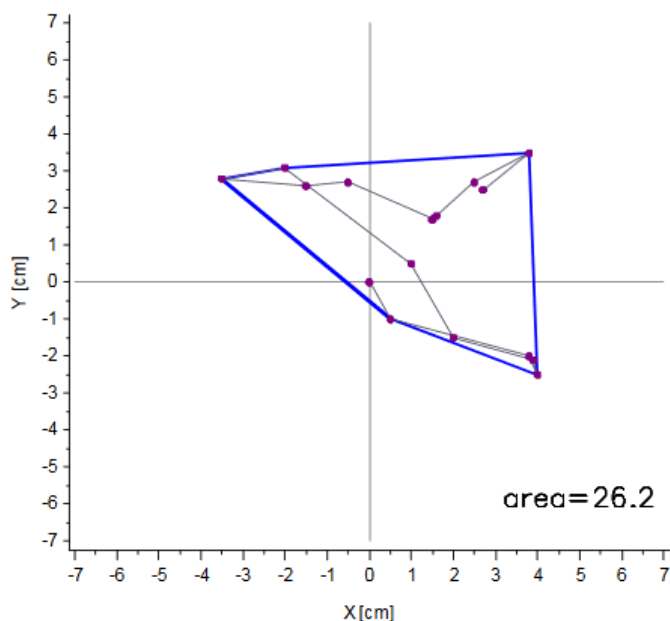
V kontextu hodnocení vícerozměrných dat měřených pro hodnocení posturální stability stoje pomocí stabilometrické plošiny budou metody hodnocení sloužit ke sledování vzájemného vývoje výchylek CoP v mediolaterálním a anteroposteriorním směru. Výčet základních v minulosti navržených parametrů je uveden v Tabulce 2.3, některé metody jsou ovšem principiálně složitější, a jsou proto dále ještě podrobněji zmíněny.

Tabulka 2.3: Přehled parametrů pro hodnocení vzájemného vývoje dvou měřených veličin.

| Původní název parametru | Zkratka | Výpočet | Zdroj |
|---|--------------|--|--|
| Path | l | $l = \sqrt{ML^2 + AP^2}$ | Schubert et al. (2012) |
| Planar deviation | PD | $\sqrt{SD(ML)^2 + SD(AP)^2}$ | Raymakers et al. (2005) |
| Phase plane parameter | PP | $\sqrt{SD(ML)^2 + SD(AP)^2 + SD(ML)^2} \cdot \sqrt{velML + SD(AP)^2 \cdot velAP}$ | Raymakers et al. (2005) |
| Angle deviation from AP sway | β | $90 - \left \text{atan}\left(\frac{AP}{ML}\right) \right $ | Rocchi et al. (2005) |
| Mean dev-AP | $\beta\beta$ | $\frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n}{n}$ | Vlčková (2016) |
| SD dev-AP | $SD(\beta)$ | $SD(\beta)$ | Schubert et al. (2012) Vlčková (2016) |
| Turns index | Turns | $\sum \sqrt{\left(\frac{ML}{SD(ML)}\right)^2 + \left(\frac{AP}{SD(AP)}\right)^2}$ | Schubert et al. (2012) Vlčková (2016) |
| Hull area of CoP | Ah | $\sum (0,5 \cdot \max(a) \cdot \max(a + 1) \cdot \sin(\max(a + 1) - \max(a)))$ | Schubert et al. (2012) |
| 95% prediction ellipse area | Ae | $[\text{vec, val}] = \text{eig}(\text{cov}(ML, AP)),$ $\pi \cdot \text{prod}(2,4478 \cdot \sqrt{\text{svd}(\text{val})})$ | Schubert et al. (2012) |
| SD of 95% prediction ellipse are per second | $SD(Ae)$ | $SD(A_e) \cdot s^{-1}$ | Schubert et al. (2012) |
| Alternate Romberg ratio (torque) | R_T | $\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \text{CoP} \times m \cdot g}{n}$ $\frac{\tau_{EC} - \tau_{EO}}{\tau_{EC} + \tau_{EO}} \cdot 100$ | Tjernstrom et al. (2015) |
| Sum of maximal deviation time | SDT | $\sum_{i=1}^{16} t \cdot i \cdot D_{\max}$ | Raymakers et al. (2005) |

Často používaným parametrem je obecně obsah plochy obrazce, který je vytvořen některou z metod nad danými body v grafu vynášených měřených veličin. Za tímto účelem se používá několik metod, zde konkrétně bude věnována pozornost konvexní obálce, konfidenční elipse, metodě kruhu a Leibnitzově metodě.

Konvexní obálka množiny daných bodů je nejmenší konvexní obrazec obsahující všechny tyto body. Pro konstrukci konvexní obálky existuje mnoho algoritmů lišících se časovou a paměťovou náročností, pokud se týče konstrukce v prostředí MatLab, lze použít funkci `convhull`. Pro určení obsahu konvexní obálky se rovněž používá řada metod jako je například polygonální triangulace či metoda determinantu popsaná v článku Wollseifein T. (2012).



Obr. 2.1: Ukázka konvexní obálky. (Wollseifein T. (2012))

Konfidenční 95% elipsa je obecně nejmenší elipsa, která zahrne 95 % daných bodů. Sledovanými parametry jsou obsah plochy elipsy a sklon hlavních os elipsy vzhledem k souřadnému systému. Teoretický postup konstrukce elipsy je uveden v článku Borg F. (2002). Pro dané body je spočítána kovarianční matice, ze které jsou získány vektory os elipsy jako vlastní vektory e_0 a e_1 této kovarianční matice. Pro příslušná vlastní čísla platí, že $\lambda_1 \geq \lambda_0 > 0$. Body promítnuté do elipsy mají Gaussovo rozdělení se střední hodnotou rovnou nule a se směrodatnými odchylkami:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\lambda_0}{N-1}}, \sigma_1 = \sqrt{\frac{\lambda_1}{N-1}} \quad (2.1)$$

Jestliže se souřadnice naproti osám e_0 a e_1 označí písmeny ξ a η , lze předpokládat, že proměnné $\frac{\xi}{\sigma_0}$ a $\frac{\eta}{\sigma_1}$ mají normální rozdělení, $N(0,1)$.

Proměnná ζ definovaná níže pak bude mít chí-kvadrát rozdělení druhého stupně.

$$\zeta = \left(\frac{\xi}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{\sigma_1}\right)^2 \quad (2.2)$$

Ve statistických tabulkách je uvedena následující rovnost, kde p znamená pravděpodobnost daného jevu:

$$p(\zeta < 5,991) = 0,95 \quad (2.3)$$

Tedy vyplývá, že 95 % bodů bude uvnitř elipsy popsanou následující rovnicí:

$$\left(\frac{\xi}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{\sigma_1}\right)^2 = 5,991 \quad (2.4)$$

Hlavní poloosy budou určeny vzorcem:

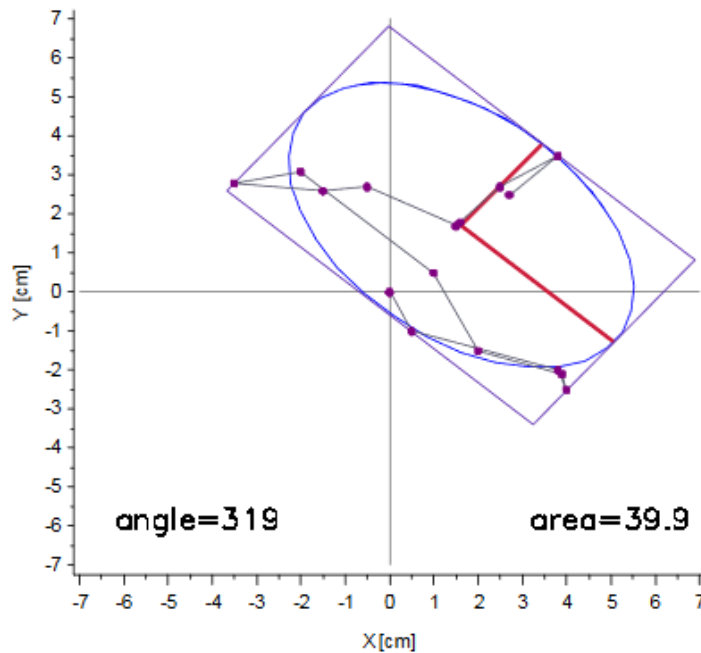
$$r_{\max} = \sqrt{5,991} \cdot \sigma_0 \cdot e_0 \quad (2.5)$$

Vedlejší poloosy budou určeny vzorcem obdobným:

$$r_{\min} = \sqrt{5,991} \cdot \sigma_1 \cdot e_1 \quad (2.6)$$

Úhel sklonu je dán úhlem mezi e_0 a x-ovou osou. Hledaný obsah elipsy lze zjistit následujícím vztahem:

$$A = 5,991 \cdot \pi \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_1 \quad (2.7)$$

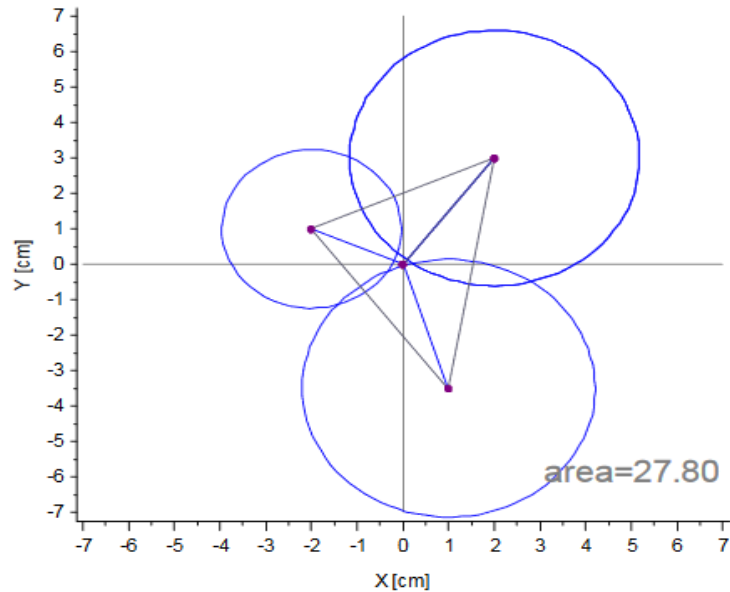


Obr. 2.2: Ukázka konfidenční 95% elipsy. (Wollseifen T. (2012))

Metoda kruhu (mean circle method) a Leibnitzova metoda je uvedena v článku Wollseifen T. (2012) a diplomové práci Vlčková K. (2016). Obě metody mají shodný začátek výpočetního algoritmu, kdy se počátek souřadného systému posune do nového počátku, jehož souřadnice jsou průměrné hodnoty dat vynesných na ose x a ose y.

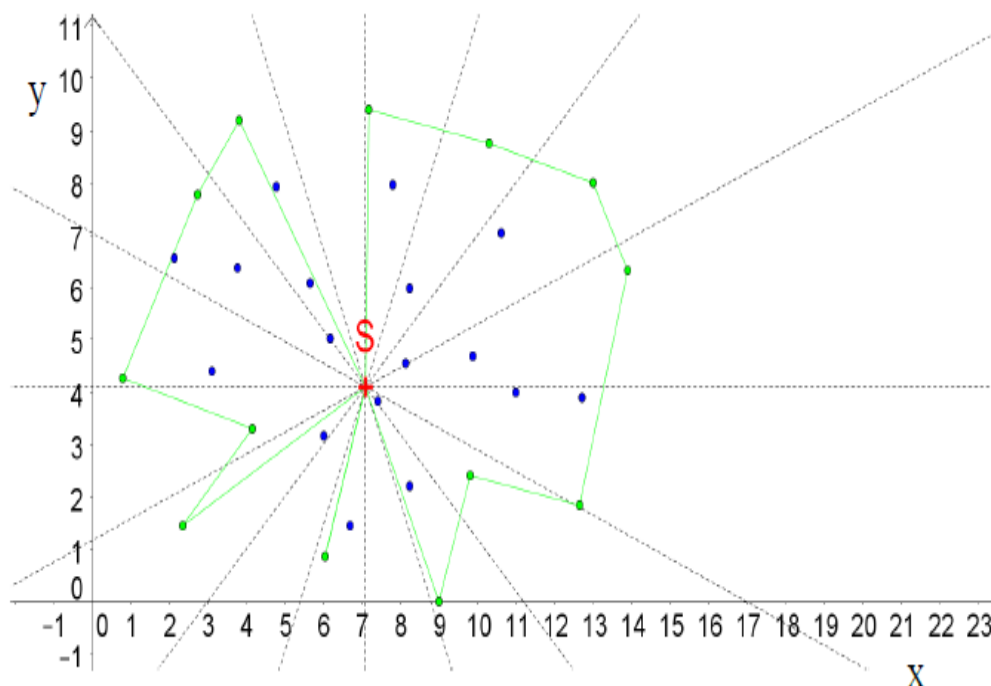
Každý bod (x, y) je převeden do polárních souřadnic (r, θ) , přičemž podle velikosti úhlu θ se body rozdělí do podmnožin tak, že se 360° rozdělí na pravidelné úseky.

U metody kruhu se poté z každé podmnožiny vybere bod s největší vzdáleností r od počátku. Z těchto maximálních hodnot se z každé podmnožiny určí průměrná hodnota vzdálenosti, která udává poloměr kružnice, pomocí něhož se již snadno dopočítá hledaný obsah kruhu. Metodu kruhu lze pozměnit tak, že se místo průměru bude určovat medián.



Obr. 2.3: Ukázka metody kruhu. (Wollseifein T. (2012))

V případě Leibnitzovy metody se v každé podmnožině určí nejvzdálenější bod od nového počátku, přičemž spojením těchto bodů získaných ze všech podmnožin vznikne 2D obrazec, resp. uzavřená plocha, u které lze spočítat obsah. Spojením bodů dvou sousedních podmnožin a nového počátku vznikne trojúhelník, u něhož je spočítán jeho obsah. Tento postup se provede pro všechny body, resp. podmnožiny. Výsledný obsah je součtem obsahů takto vzniklých trojúhelníků.

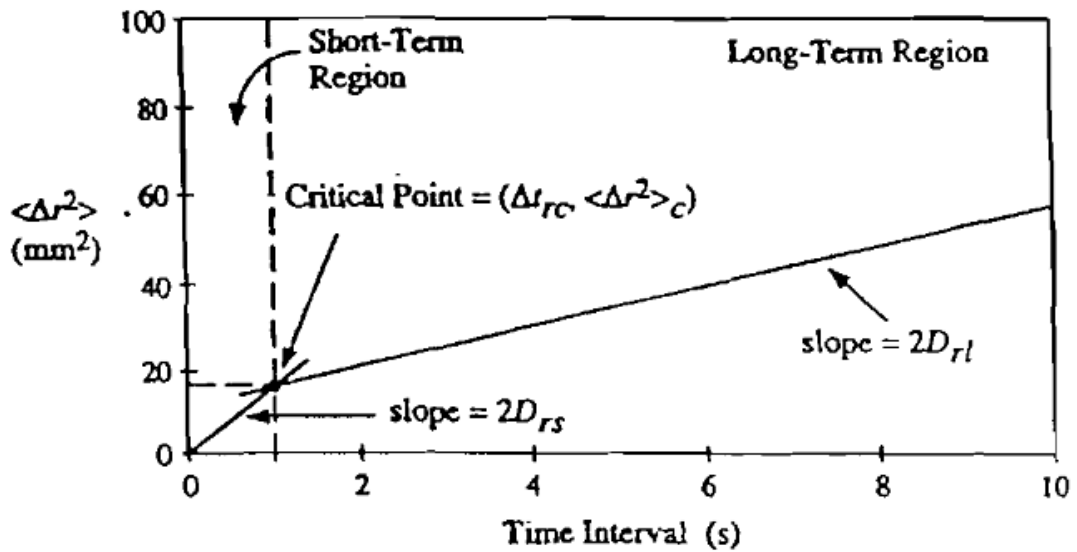


Obr. 2.4: Ukázka obrazce zkonstruovaného Leibnitzovou metodou, kde zelená čára spojuje nejvzdálenější body v daných podmnožinách vzhledem k posunutému počátku S. (Vlčková K. (2016))

Jelikož záznam dat na stabilometrické plošině většinou probíhá ve dvou situacích, tj. stoj při otevřených očích a stoj při zavřených očích, lze použít metody hodnocení, které tuto skutečnost zohledňují. Ke kvantifikaci vlivu vizuální podpory slouží určení Rombergova kvocientu, avšak z důvodu vyšší test-retest reliability lze tradiční výpočet kvocientu upravit, jak je uvedeno v článku Tjernstrom F. et al. (2015). Metoda alternovaného Rombergova kvocientu je založena na výpočtu tzv. momentu síly, který je dán součinem (x, y) souřadnice daného bodu, hmotnosti subjektu a gravitační konstanty. Tedy, změny momentu síly jsou ekvivalentní změnám polohy CoP, avšak jsou vyjádřeny jako množství energie potřebné k zachování stability. Vzorce výpočtu jsou uvedeny výše v tabulce, hodnota výsledného kvocientu poté vypovídá o míře vizuální podpory k udržení stability. Respektive, pokud je kvocient záporné číslo nebo číslo blízké nule, vizuální podpora nemá příliš velký vliv, a naopak.

Další přístup k hodnocení polohy CoP je uveden v článku Raymakers J.A. et al. (2005), kde jsou data popsána ve formě takzvaného difuzního stabilogramu představujícího analogii k náhodnému pohybu molekul tekutin, resp. k Brownově pohybu. Kvadrát vzdálenosti dvojice výchylek CoP je graficky vyneseno v závislosti na odpovídajícím časovém intervalu, což vede k určení kritického časového intervalu a difuzní konstanty. Kritický časový interval je interval, ve kterém se sklon regresní přímky významně zlomí a to tak, že tento následující sklon je méně strmý oproti sklonu

původnímu. Difuzní konstantu pak představuje sklon regresní přímky spojující body za tímto kritickým časovým intervalem. Schématický graf je prezentován na Obr. 2.5.



Obr. 2.5: Schématický difuzní stabilogram. (Collins J.J. et al. (1995))

Další možný hodnocený parametr je publikován v článku Raymakers J.A. et al. (2005), jedná se o parametr SDT (sum of maximal deviation time), který se získá jako součin maximálních výchylek CoP od svého středu nehledě na směr a dobou trvání těchto maximálních výchylek. Naměřená data se rozdělí do šestnácti klasifikačních tříd podle velikosti výchylek CoP, přičemž každá třída má pevně stanovenou spodní a horní hranici a rozmezí těchto hranic je stejně velké. Rovněž se vytvoří šestnáct časových tříd, které reprezentují jistý časový interval. Data jsou pak zařazována do příslušných skupin tak, že pokud velikost výchylky překročí spodní hranici uvažované klasifikační třídy, započítává se délka trvání, během které se výchylka CoP pohybuje za touto hranicí, na základě čehož se výchylka přiřadí do časové třídy. Pokud se v dané časové třídě objeví stejná hodnota výchylky, započítává se pouze jednou. Z každé časové třídy se poté vybere největší hodnota výchylky CoP a vynásobí se příslušnou hodnotou časové třídy. Součet všech šestnácti takto postupně získaných hodnot pak tvoří parametr SDT, který se zdá být jako poměrně přesný parametr především z hlediska hodnocení rizika pádu, neboť riziko pádu roste nejen s velikostí výchylky CoP, ale také s délkou trvání této výchylky.

2.4 Závěr kapitoly

Jak jsem výše uvedla, naměřená data lze hodnotit řadou metod. Tyto metody lze obecně rozdělit podle toho, zda slouží pro hodnocení dat v časové oblasti, frekvenční oblasti nebo zda chceme hodnotit vzájemný vývoj sledovaných veličin. Pro účely této práce budou, na základě diskuzí s praxí, do prostředí Matlab implementovány metody resp. parametry hodnocení shrnuté v Tabulce 2.4.

Tabulka 2.4: Přehled parametrů, které budou implementovány do prostředí Matlab (v českém jazyce nezavedené termíny ponechány v původním tvaru).

| | |
|-----------------------------|--|
| Časová oblast | Průměr, směrodatná odchylka Medián, kvartily Minimum, maximum, ROM Délka křivky, průměrná rychlost Root mean square |
| Frekvenční oblast | Výkonová spektrální hustota Procentuální zastoupení určitých ploch pod křivkou spektra u celkové plochy Průměr, medián |
| Vzájemný vývoj dvou veličin | Planar deviation, phase plane parameter Angle deviation from AP sway Turns index Obsah konvexní obálky Poloosy, náklon a obsah konfidenční elipsy Obsah a poloměr kruhu vzniklého metodou kruhu Obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou Rombergův kvocient Sklon regresní přímky a kritický bod difuzního stabilogramu Sum of maximal deviation time |

3 Metody záznamu a předzpracování dat

3.1 Popis měřicího systému

Obecně lze k záznamu posturální stability stoje použít jakékoliv siloměrné plošiny s více snímači pro určení polohy reakční síly v rovině plošiny, my jsme použili měření posturální stability stoje stabilometrickou plošinu AMTI OR6-5 (USA) navrženou pro přesné měření velikosti a polohy reakčních sil.

Plošina má obdélníkový tvar s rozměry 464 x 508 x 82,55 mm, přičemž v každém ze čtyř rohů je umístěn piezoelektrický senzor velikosti působících sil. Bližší technická specifikace plošiny je dostupná na webových stránkách výrobce. Lze měřit ortogonální složky sil ve třech osách (x, y, z) a momenty sil k těmto osám. Součtem velikostí sil naměřených v každé podpěře je poté získána velikost výsledné síly působící na desku. Ze znalosti vznikajících momentů sil na podložce pak lze zjistit působivé místo výsledné síly. Právě určení polohy celkové tíhové síly je klíčové pro měření posturální stability, neboť se v podstatě za zjednodušujících předpokladů jedná o polohu průmětu těžiště těla, o které se předpokládá, že je totožná s polohou CoP (Centre of Pressure).

Data hodnocená v této práci byla získána měřením subjektů při stožení na dvou takovýchto plošinách, jejichž schéma uvádí Obr. 3.3. Kromě stožení na tvrdém povrchu plošiny AMTI OR6-5 (viz Obr. 3.1) měření probíhalo i při stožení na měkké molitanové podložce Airex Balance Pad (Airex AG, Švýcarsko), která byla položena na tvrdé plošině. Tuto měkkou podložku prezentuje Obr. 3.2.

Pro jeden časový okamžik tedy bylo naměřeno deset následujících hodnot:

- F_{x1} [N],
- F_{y1} [N],
- F_{z1} [N],
- A_{x1} [mm],
- A_{y1} [mm],
- F_{x2} [N],
- F_{y2} [N],
- F_{z2} [N],
- A_{x2} [mm],
- A_{y2} [mm];

kde x značí mediolaterální složku, y anteroposteriorní složku, z vertikální složku, F označuje reakční sílu podložky, A okamžitou polohu CoP. Čísla v dolních indexech udávají plošinu, na které byl daný údaj změřen.



Obr. 3.1: Stabilometrická plošina AMTI OR6-5.
(Advanced Mechanical Technology, Inc. (2016))



Obr. 3.2: Měkká molitanová podložka Airex Balance Pad. (Airex AG, Inc (2016))

3.2 Předzpracování naměřených dat

Naměřená data s frekvencí záznamu 200 Hz byla nejprve v prostředí MatLab nadvzorkována pomocí funkce linspace a následně vyhlazena. K vyhlazení dat byl použit příkaz smooth, který je rovněž integrovaný v prostředí MatLab a nabízí několik možností vyhlazovacího filtrování, zde konkrétně byla testována lokální regrese lowess (locally weighted scatterplot smoothing).

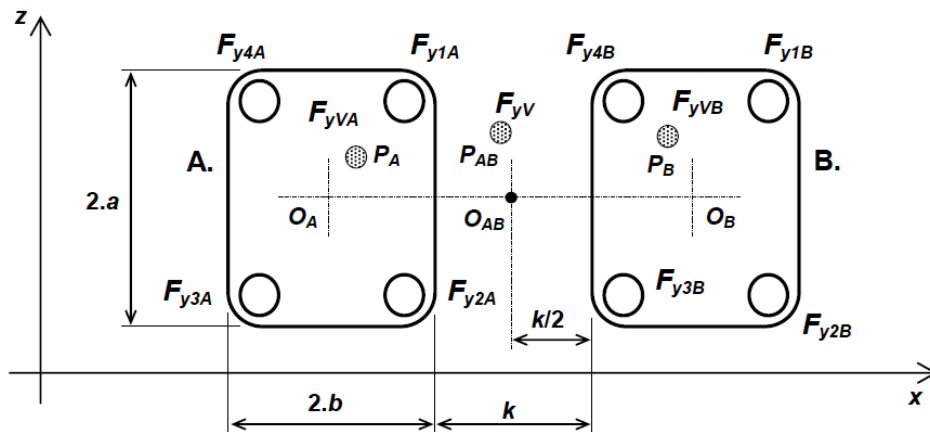
Po aplikaci výše popsaných příkazů na hodnocená data však byly rozdíly mezi raw a filtrovanými daty jen nepatrné, a proto nakonec nebyly použity. Vedle minimálního rozdílu se tak stalo i s ohledem na vysokou vzorkovací frekvenci záznamu a především s ohledem na časovou náročnost zpracování dat, kterých bylo velké množství. Posledním a hlavním důvodem však byla snaha vyhnout se případné ztrátě informací z dat způsobenou jejich filtrací.

Metody určení parametrů hodnocení stoje však budu navrhovat pro celkovou velikost výchylek CoP v mediolaterálním a anteroposteriorním směru v daném čase, v souladu s dohodou s klinickou praxí. Z výše uvedených hodnot byl přepočten na celkové CoP proveden dle vzorce 3.1 pro mediolaterální směr a dle vzorce 3.2 pro anteroposteriorní směr.

$$ML_{\text{celk}} = \left(\frac{((A_{x1} + 509) * F_{z1} + A_{x2} * F_{z2})}{F_{z1} + F_{z2}} \right) - \frac{509}{2} \quad (3.1)$$

$$AP_{\text{celk}} = \left(\frac{A_{y1} * F_{z1} + A_{y2} * F_{z2}}{F_{z1} + F_{z2}} \right) \quad (3.2)$$

Číselný údaj 509 mm se rovná fyzické vzdálenosti středů obou plošin. Ze vzorce 3.1 tedy pak vyplývá, že počátek souřadného systému je v polovině této vzdálenosti.



Obr. 3.3: Schéma dvou stabilometrických plošin. (Kutílek et al. (2013))

3.3 Určení rychlosti a zrychlení

Obecně platí, že rychlost se rovná první derivaci polohy podle času. V této práci byla rychlost určena jednoduchou dopřednou diferencí, výpočet numerické derivace pak lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$v = \frac{r(t_{i+1}) - r(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \quad (3.3)$$

kde $r(t_{i+1})$ a $r(t_i)$ reprezentují sousední hodnoty polohy daného bodu v časových okamžicích t_{i+1} a t_i .

Zrychlení je rovno druhé derivaci polohy podle času, resp. první derivaci rychlosti podle času. S ohledem na tuto znalost bylo zrychlení určeno stejným způsobem jako rychlost. Výpočet rychlosti a zrychlení je možné implementovat v prostředí MatLab.

3.4 Závěr kapitoly

Záznam dat byl uskutečněn pomocí stabilometrického systému AMTI OR6-5, na němž probíhalo měření při stožení na dvou plošinách, a to jak na tvrdém povrchu plošiny, tak na měkké podložce položené na plošině. Ze získaných dat byl proveden přepočítání pro zjištění celkové výchylky CoP v mediolaterálním a anteroposteriorním směru, neboť navržené metody hodnocení vyžadují tyto hodnoty jako vstupní parametry. Výpočet je implementovaný v prostředí MatLab.

Po otestování nakonec nebylo využito filtrace dat, a to z důvodu malé efektivity, vysoké vzorkovací frekvence, snížení časové náročnosti zpracování a obavy ze ztráty důležité informace v datech. První a druhá derivace výchylek CoP byly určeny tak, aby mohla být data přímo využita pro výpočet parametrů kvantitativního hodnocení stoje.

4 Aplikace metod hodnocení posturální stability stoje

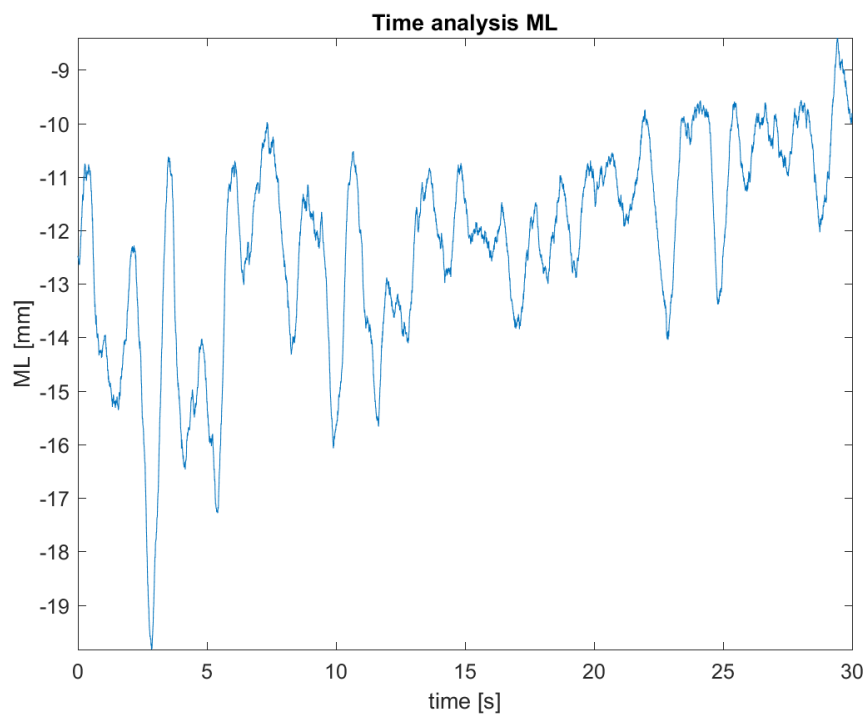
Naměřená data pohybu CoP během stoje na stabilometrické plošině předpokládají nejprve předzpracování postupy uvedenými v kapitole 3. Tedy, byly spočteny velikosti výchylek celkového CoP, a poté byla určena první a druhá derivace polohy, resp. rychlost a zrychlení změn pohybu polohy CoP. K záznamu dat je možné využít libovolného typu siloměrné plošiny, my jsme využili ve spolupráci s Fakultou tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci systém AMTI (OR6-5, Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, USA).

Na tato data byly aplikovány metody hodnocení popsané v kapitole 2.1, 2.2 a 2.3, algoritimizované v prostředí MatLab, a to vždy na data reprezentující výchylky CoP a poté na jejich první a druhou derivaci.

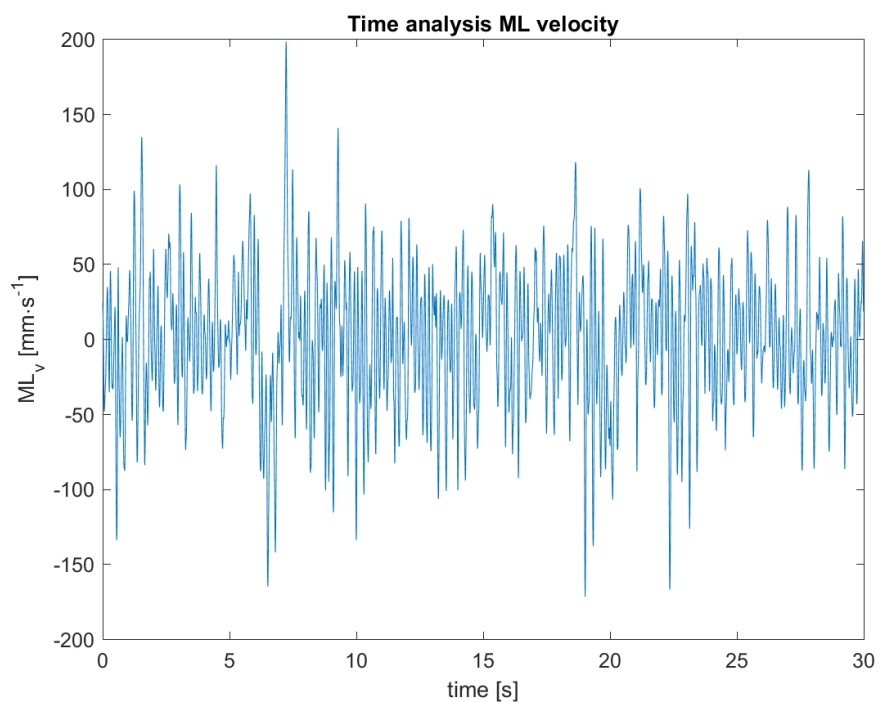
Tato kapitola je věnována přehledu aplikovaných metod a jejich výstupům, včetně výstupů grafických, z navrženého software využívajícího výše zmíněných metod. Níže uvedený přehled reprezentativních výstupů, především grafických, odpovídá výsledkům aplikace navržených metod hodnocení na data získaná měřením subjektu s identifikačním číslem 2258 na tvrdém povrchu při zavřených očích. Subjekt 2258 je muž; 63 let; výška 185,2 cm; váha 83,0 kg; levostranná dominance.

4.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti

Pro implementaci v prostředí MatLab a následné hodnocení závislosti polohy CoP na čase byly použity všechny metody pro hodnocení dat v časové oblasti uvedené v kapitole 2.1. Kvantitativními ukazateli byly především statistické charakteristiky, tzn. průměr, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota, medián, kvartily a root mean square. Dalšími sledovanými parametry byly ROM, délka křivky a průměrná rychlost. Na následujících obrázcích, které jsou výstupem z mnou navrženého SW, jsou prezentovány grafické výstupy časové analýzy daných dat, resp. závislosti polohy, rychlosti a případně zrychlení na čase. Z těchto grafů jsou určeny hodnoty výše zmíněných ukazatelů.



Obr. 4.1: Ukázka změřené závislosti polohy CoP na čase v ML směru.



Obr. 4.2: Ukázka dat závislosti rychlosti změny polohy CoP na čase v ML směru pro výpočet parametrů pohybu.

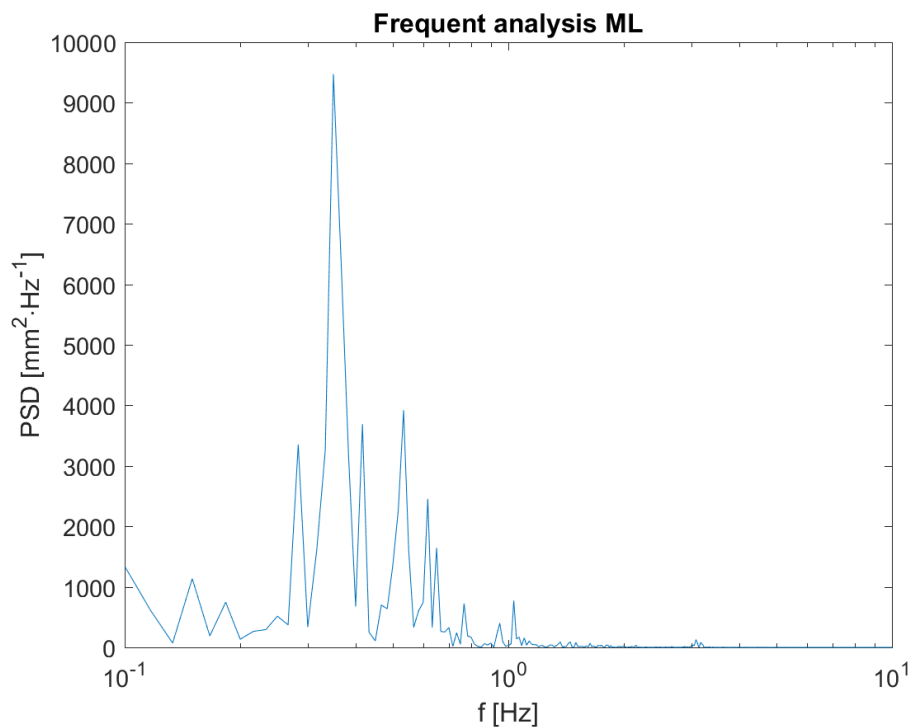
4.2 Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti

Pro sledování vývoje dat v závislosti na frekvenci je základem provedení Fourierovy transformace dat v časové oblasti, čímž získáme příslušné frekvenční spektrum. Tato a další zpracování jsou realizována v prostředí MatLab. Hodnoceným parametrem byl obsah plochy pod spektrální křivkou a procentuální zastoupení této plochy z celkové plochy na předem daných intervalech. Tyto intervaly byly zvoleny tři, a to následovně:

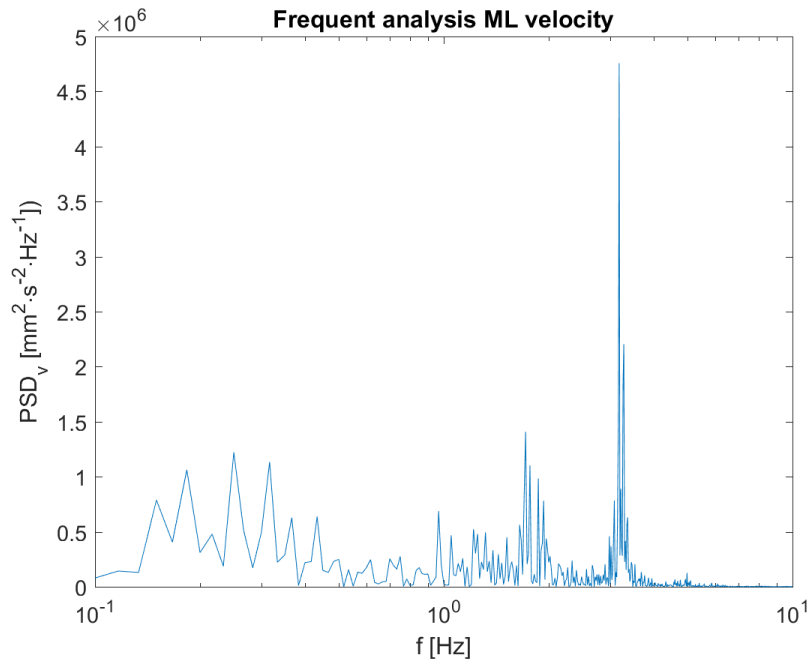
- nízká frekvence (0,10 Hz – 2,40 Hz), tj. plocha S1;
- střední frekvence (2,40 Hz – 3,50 Hz), tj. plocha S2;
- vysoká frekvence (3,50 Hz – 8,00 Hz), tj. plocha S3.

Dále byl hodnocen průměr a medián dat ve frekvenční oblasti.

Na následujících obrázcích jsou ukázány grafické výstupy frekvenční analýzy daných dat, resp. závislosti polohy a rychlosti na frekvenci.



Obr. 4.3: Výkonová spektrální hustota polohy CoP v ML směru.



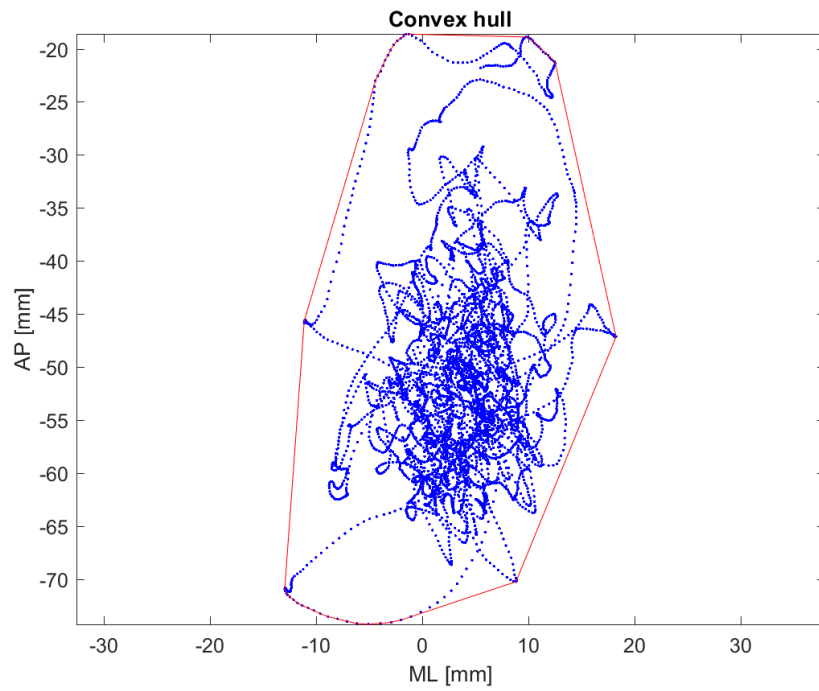
Obr. 4.4: Výkonová spektrální hustota rychlosti změny polohy CoP v ML směru.

4.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin

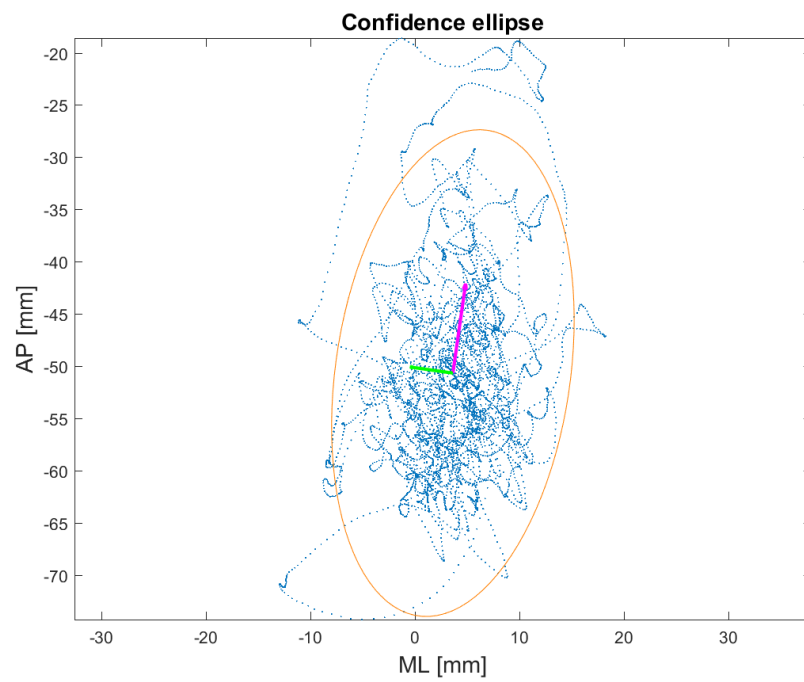
Použité metody sloužily ke sledování vzájemného vývoje polohy CoP v mediolaterálním a anteroposteriorním směru a byly následující:

- délka křivky;
- směrodatná odchylka, průměr délky křivky;
- průměrná rychlost;
- angle deviation from AP sway;
- turns index;
- obsah konvexní obálky;
- poloosy, náklon a obsah konfidenční elipsy;
- obsah a poloměr kruhu vzniklého metodou kruhu pro podmnožiny tvořené úhly o velikosti 5° a 10°;
- obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou pro podmnožiny tvořené úhly o velikosti 5° a 10°;
- Rombergův kvocient.

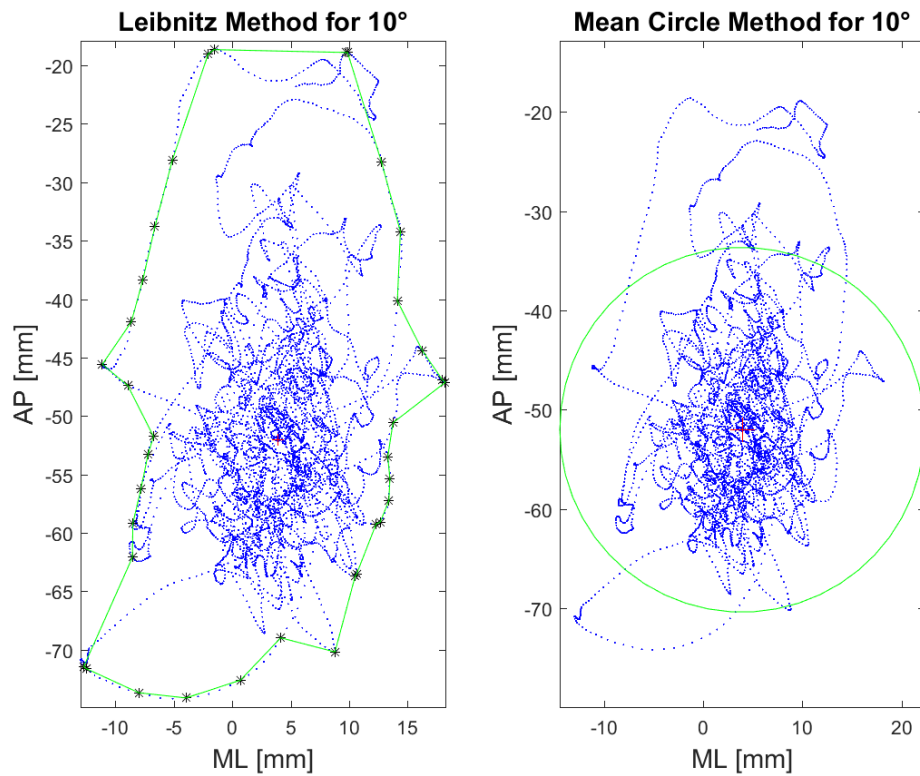
Dále uvedené obrázky reprezentují grafické výstupy aplikovaných metod, a to u metod, které grafický výstup poskytují. Jako ukázkou uvádím níže aplikaci pro hodnocení polohy, identicky by se metody použily na rychlost a zrychlení pohybu CoP. Těmito metodami jsou konvexní obálka, konfidenční elipsa, Leibnitzova metoda a metoda kruhu. Všechny výpočty parametrů jsou opět implementovány v prostředí MatLab.



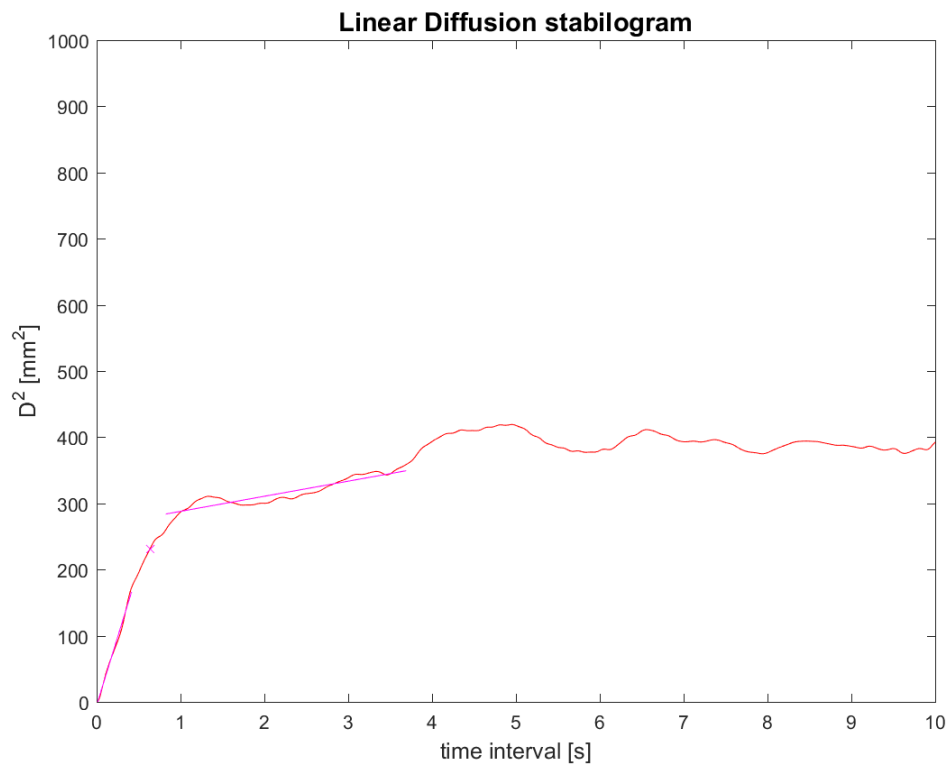
Obr. 4.5: Konvexní obálka závislosti polohy CoP v ML a AP směru.



Obr. 4.7: Konfidenční elipsa závislosti polohy CoP v ML a AP směru.



Obr. 4.9: Obrazce vzniklé Leibnitzovou metodou a metodou kruhu závislosti polohy CoP v ML a AP pro podmnožiny o velikosti 10°.



Obr. 4.11: Lineární difuzní stabilogram závislosti kvadrátu rozdílu polohy CoP v ML a AP směru na časovém intervalu.

4.4 Závěr kapitoly

Metody pro hodnocení dat v časové oblasti, frekvenční oblasti a pro hodnocení vzájemného vývoje naměřených výchylek CoP uvedené v kapitole 2 byly všechny implementovány do prostředí MatLab a byla otestována jejich funkčnost. V této kapitole byly prezentovány grafické výstupy těch metod, které tento výstup poskytovaly. Navržený program umožňuje kvantitativní výstupy, tj. hodnoty vypočtených parametrů všech aplikovaných metod ukládat do textových souborů a do souboru Excel. Navržený SW mohl být tedy použit pro hodnocení dat ze siloměrných plošin.

5 Experimentální měření a výsledky testování návrhů

Data, která byla vyhodnocována výše navrženými metodami a SW, byla poskytnuta z Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci v rámci společného výzkumu posturální stability starších osob, která byla měřena v průběhu posledních několika let pro účely rozsáhlé studie zaměřené na odhalení indexů, které by mohly pomoci včas identifikovat seniory s rizikem pádu.

5.1 Postup měření a hodnocení posturální stability

Na základě testování a ověření navržených metod je stanoven následující postup měření a hodnocení posturální stability navrženými metodami:

- Subjekt si stoupne každou nohou na jednu nebo dvě stabilometrické plošiny (podle typu použitého stabilometrického systému), na plošině je naznačená požadovaná poloha chodidel. Stojí vzpřímeně a ruce má volně podél těla. Poloha se však může lišit v souladu s požadavky vyšetřujícího personálu.
- Po dobu alespoň 30 sekund je zaznamenáván pohyb CoP, přičemž má měřený subjekt otevřené oči a kouká před sebe. Poté probíhá rovněž třicetivteřinový záznam výchylek CoP s tím rozdílem, že subjekt zavře oči, čímž přijde o vizuální podporu posturální stability.
- Na tvrdý povrch plošiny se položí měkká podložka (standardizovaná pro použití v klinické praxi), na které je opět naznačené přesné umístění chodidel. Probíhá obdobné měření, tedy vždy po dobu minimálně 30 sekund je zaznamenávám pohyb CoP při otevřených a zavřených očích. Tím je dokončeno měření i účast probanda. Pro opakovaná a srovnávací měření je nutné dodržet stejnou dobu záznamu. Minimální doba měření 30s je zvolena na základě doporučení, neboť jsou vybrané parametry závislé na délce záznamu a vyžadují jeho dostatečnou délku.
- Uložená naměřená data jsou nahrána do software, kde nejprve musí proběhnout správný přepočítání naměřených veličin na celkovou velikost výchylek CoP v mediolaterálním a anteroposteriorním směru. Tyto hodnoty jsou vyžadovány jako vstupní parametry pro navržené metody hodnocení. Dále v software proběhne kontrola dat z hlediska jejich úplnosti a obsahu.
- Přepočtená a zkontrolovaná data jsou vyhodnocena navrženým skriptem s implementovanými metodami hodnocení dat ze stabilometrického systému, popsány v předchozích kapitolách.

- Po zpracování dat jsou výstupem ze software kvantitativní ukazatele navržených metod a případně grafické výstupy, pokud je daná metoda poskytuje. To už umožňuje přímo interpretovat či porovnat úroveň posturální stability subjektu.
- Data jsou uložena v podobě tabulky vypočtených parametrů posturální stability stoje.

5.2 Volba podmínek měření a měřených subjektů

Data pro účely této práce byla získána měřením subjektů, kteří stáli na dvou dříve popsaných plošinách AMTI OR6-7 (každou nohou na jedné plošině) za přesně definovaných podmínek stoje, tj. poloha nohou byla 15 cm horizontálně od sebe měřeno od středu pat a špičky vytočené 10° směrem ven, ruce byly volně podél těla. Poloha nohou byla naznačena přímo na plošině a během měření kontrolována dohlížející osobou.

Měření probíhalo při otevřených a zavřených očích, a to na tvrdé a měkké podložce. Tvrdou podložkou je myšlen hliníkový povrch plošiny bez dalších úprav, měkkou podložkou se pak rozumí molitanová podložka Airex Balance Pad (Airex AG, Švýcarsko), která byla položena na tvrdý povrch plošiny AMTI. Každý subjekt podstoupil měření při těchto podmínkách trvající vždy 30 sekund.

Celkem se jednalo o skupinu 137 lidí starších 60 let, kteří netrpěli žádnými neurologickými ani pohybovými obtížemi. V Tabulce 5.1 je prezentován počet a průměrný počet pádů pro jednotlivé věkové skupiny mužů a žen.

Tabulka 5.1: Počet a průměrný počet pádů pro jednotlivé věkové skupiny mužů a žen.

| | Věková skupina | Počet | Průměrný počet pádů |
|------|----------------|-------|---------------------|
| Muži | 60-69 let | 9 | 0,33 |
| | 70-79 let | 12 | 0,25 |
| | 80 a více let | 3 | 0,67 |
| Ženy | 60-69 let | 54 | 0,51 |
| | 70-79 let | 49 | 0,83 |
| | 80 a více let | 10 | 0,50 |

Přestože v prostředí MatLab byla zpracována všechna dostupná data, do statistického vyhodnocení byly zahrnuty jen vybrané skupiny dat vypsané níže. Počet žen nad 80 let a počet mužů obecně byl totiž velmi nízký a podle předběžného testování pomocí Wilcoxonova nepárového testu na 5 % hladině významnosti nebylo

možné skupiny sloučit. Zpracovaná data pro všechny skupiny, resp. pro všechny subjekty jsou uvedeny v souboru *Zpracovaná_data.xlsx*, dále uvedené statistické vyhodnocení se týká následujících skupin:

- ženy 60-69 let, stoj na tvrdé podložce, zavřené oči;
- ženy 60-69 let, stoj na tvrdé podložce, otevřené oči;
- ženy 60-69 let, stoj na měkké podložce, zavřené oči;
- ženy 60-69 let, stoj na měkké podložce, otevřené oči;
- ženy 70-79 let, stoj na tvrdé podložce, zavřené oči;
- ženy 70-79 let, stoj na tvrdé podložce, otevřené oči;
- ženy 70-79 let, stoj na měkké podložce, zavřené oči;
- ženy 70-79 let, stoj na tvrdé podložce, otevřené oči.

5.3 Hodnocené parametry

Jelikož skript navržený v prostředí MatLab poskytuje velké množství kvantitativních ukazatelů, byla statistická analýza provedena jen pro některé z nich. Vybrané kvantitativní ukazatele jsou shrnuty v Tabulce 5.2. Uvedená skupina dále využitých ukazatelů je použita na základě předchozích konzultací s Fakultou tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci a na základě úvodní rešerše tak, abychom mohli uvedené výsledky vědecky prezentovat.

Tabulka 5.2: Přehled kvantitativních ukazatelů sledovaných ve statistickém vyhodnocení.

| | |
|-----------------------------|--|
| Časová oblast | Průměr |
| | Rozsah ROM |
| Frekvenční oblast | Medián |
| Vzájemný vývoj dvou veličin | Délka křivky |
| | Obsah konvexní obálky |
| | Obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou |
| | Obsah obrazce vzniklého metodou kruhu |
| | Obsah konfidenční elipsy |
| | Phase plane parameter |
| | Planar deviation |
| | Angle deviation from AP sway |
| | Turns index |
| | Rombergův kvocient |
| | Sklon a kritický bod difuzního stabilogramu |
| | Sum of maximal deviation time |

Měření subjektů za jednotlivých podmínek (otevřené/zavřené oči, tvrdá/měkká podložka) probíhalo vždy alespoň dvakrát. Z kvantitativních ukazatelů byly tedy spočítány mediány, které byly zahrnuty do statistického hodnocení.

Před statistickou analýzou bylo nejprve otestováno normální rozdělení dat, k čemuž byl použit Shapiro-Wilkův test. Test nepotvrdil, že data mají normální rozdělení, z tohoto zjištění vycházel výběr statistických metod.

5.4 Statistické hodnocení dat

Do statistického hodnocení byly zahrnuty parametry uvedené v Tabulce 5.2 pro osm skupin dat vypsanych výše v kapitole 5.2. Skupiny dat byly rozděleny podle věku, ale i podle podmínek měření. Některá statistická vyhodnocení vycházela z rozdělení probandů ještě do tzv. nepádových a pádových skupin podle toho, zda daný subjekt již utrpěl alespoň jeden pád během posledního roku před měřením. Pro přehlednost proto nejprve uvádím význam použitých zkratk, které reprezentují věkovou skupinu, podmínky měření daného subjektu a zařazení do pádové, resp. nepádové skupiny. Tyto zkratky a jejich kombinace jsou shodně použity ve všech dále uvedených statistických hodnoceních včetně příložených excelových souborů. Zkratky jsem převzala z Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci tak, aby odpovídaly klinicky používanému pojmenování dat, a jsou následující:

- EO- stoj na tvrdé podložce při otevřených očích;
- EC- stoj na tvrdé podložce při zavřených očích;
- MEO- stoj na měkké podložce při otevřených očích;
- MEC- stoj na měkké podložce při zavřených očích;
- 60- věková skupina 60-69 let;
- 70- věková skupina 70-79 let;
- N- nepádová skupina (tj. skupina probandů s nulovým počtem pádů);
- F- pádová skupina (tj. skupina probandů s nenulovým počtem pádů).

5.4.1 Statistické vyhodnocení hodnot parametrů věkových skupin

Pro hodnocené parametry byly spočítány základní statistické charakteristiky, a to konkrétně medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil. Toto statistické hodnocení bylo provedeno pro všech osm skupin dat popsanych výše. Z důvodu velkého množství výsledků je dále prezentováno jen vybrané srovnání pro tři hodnocené parametry mezi věkovými skupinami 60-69 a 70-79 let při stoju na tvrdé podložce při otevřených očích, viz Tabulka 5.3, 5.4 a 5.5. Souhrn všech výsledků je k dispozici v příloženém souboru *Statistika_3.xlsx*.

Tabulka 5.3: Srovnání statistických výsledků pro medián frekvence v mediolaterálním směru mezi věkovou skupinou 60-69 a 70-79 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích.

| | 60 EO | 70 EO |
|--------------------|--------------|--------------|
| Medián [Hz] | 2,50 | 2,73 |
| Maximum [Hz] | 8,25 | 6,50 |
| Minimum [Hz] | 1,13 | 1,13 |
| První kvartil [Hz] | 1,82 | 2,03 |
| Třetí kvartil [Hz] | 3,35 | 3,63 |

Tabulka 5.4: Srovnání statistických výsledků pro rozsah ROM v mediolaterálním směru mezi věkovou skupinou 60-69 a 70-79 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích.

| | 60 EO | 70 EO |
|--------------------|--------------|--------------|
| Medián [mm] | 9,54 | 21,76 |
| Maximum [mm] | 32,64 | 46,78 |
| Minimum [mm] | 1,41 | 11,89 |
| První kvartil [mm] | 7,34 | 18,50 |
| Třetí kvartil [mm] | 13,25 | 25,08 |

Tabulka 5.5: Srovnání statistických výsledků pro obsah konvexní obálky mezi věkovou skupinou 60-69 a 70-79 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích.

| | 60 EO | 70 EO |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Medián [mm ²] | 114,56 | 175,71 |
| Maximum [mm ²] | 569,98 | 1113,52 |
| Minimum [mm ²] | 3,41 | 54,40 |
| První kvartil [mm ²] | 60,66 | 139,20 |
| Třetí kvartil [mm ²] | 167,48 | 218,94 |

Ze srovnání mezi věkovými skupinami lze konstatovat, že pro věkovou skupinu 70-79 let jsou hodnoty získaných statistických charakteristik pro vybrané hodnocené parametry obecně větší než pro věkovou skupinu 60-69 let.

5.4.2 Test rozdílu mezi věkovými skupinami

Pomocí Wilcoxonova nepárového testu na 5% hladině významnosti byly postupně otestovány všechny parametry uvedené v Tabulce 5.2 mezi věkovou skupinou 60-69 let a 70-79 let, a to za všech čtyřech podmínek měření (tj. otevřené/zavřené oči, tvrdá/měkká podložka). Výstupy testování jsou souhrnně uvedeny v Tabulce 5.6 a 5.7 a také v souboru *Statistika_1.xlsx*, který je součástí příloh.

Statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami 60-69 let a 70-79 let pro data získaná měřením při stoji na tvrdé podložce byl zjištěn u čtyř parametrů v případě otevřených očí a u devíti parametrů v případě zavřených očí.

V případě stoje na měkké podložce při otevřených a zavřených očích byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami 60-69 let a 70-79 let u jedenácti parametrů v případě otevřených očí a pouze u jednoho parametru v případě zavřených očí.

Tabulka 5.6: Výsledky srovnání hodnot kvantitativních ukazatelů mezi věkovou skupinou 60-69 let a 70-79 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených a zavřených očích.

| Kvantitativní ukazatel | EO | EC |
|--------------------------------------|-------|---------|
| Median freq ML [Hz] | 0,50 | 0,40 |
| Median freq AP [Hz] | 0,98 | 0,11 |
| Convex hull obsah [mm ²] | 0,02* | 0,02* |
| Leibnitz obsah [mm ²] | 0,06 | < 0,01* |
| Mean circle obsah [mm ²] | 0,03* | 0,02* |
| byMean ML [mm] | 0,56 | 0,21 |
| ROM ML [mm] | 0,06 | < 0,01* |
| Mean AP [mm] | 0,48 | 0,29 |
| ROM AP [mm] | 0,22 | 0,01* |
| Phase plane parameter [-] | 0,46 | 0,02* |
| Planar deviation [mm] | 0,14 | < 0,01* |
| Angle deviation [°] | 0,19 | 0,03* |
| Turns index [-] | 0,35 | 0,36 |
| Elipsa obsah [mm ²] | 0,04* | 0,01* |
| Path [mm] | 0,55 | 0,40 |
| SDT ML [mm·s] | 0,74 | 0,32 |
| SDT AP [mm·s] | 0,20 | 0,51 |
| Sklon 1 [mm ² /s] | 0,01* | 0,07 |
| Sklon 2 [mm ² /s] | 0,14 | 0,07 |
| Critpoint [s] | 0,33 | 0,84 |
| Romberg [-] | 0,25 | 0,53 |

* - statisticky významný rozdíl n 5% hladině významnosti ($p < 0,05$).

Tabulka 5.7: Výsledky srovnání hodnot kvantitativních ukazatelů mezi věkovou skupinou 60-69 let a 70-79 let při stožení na měkké podložce při otevřených a zavřených očích.

| Kvantitativní ukazatel | MEO | MEC |
|--------------------------------------|------------|------------|
| Median freq ML [Hz] | 0,08 | 0,56 |
| Median freq AP [Hz] | 0,27 | 0,37 |
| Convex hull obsah [mm ²] | < 0,01* | 0,79 |
| Leibnitz obsah [mm ²] | 0,01* | < 0,01* |
| Mean circle obsah [mm ²] | < 0,01* | 0,68 |
| Mean ML [mm] | 0,54 | 0,47 |
| ROM ML [mm] | < 0,01* | 0,97 |
| Mean AP [mm] | 0,38 | 0,71 |
| ROM AP [mm] | < 0,01* | 0,64 |
| Phase plane parameter [-] | 0,02* | 0,60 |
| Planar deviation [mm] | < 0,01* | 0,77 |
| Angle deviation [°] | < 0,01* | 0,71 |
| Turns index [-] | 0,03* | 0,79 |
| Elipsa obsah [mm ²] | < 0,01* | 0,72 |
| Path [mm] | 0,58 | 0,70 |
| SDT ML [mm·s] | 0,24 | 0,70 |
| SDT AP [mm·s] | 0,25 | 0,99 |
| Sklon 1 [mm ² /s] | < 0,01* | 0,82 |
| Sklon 2 [mm ² /s] | 0,08 | 0,23 |
| Critpoint [s] | 0,09 | 0,62 |
| Romberg [-] | 0,63 | 0,09 |

* - statisticky významný rozdíl n 5% hladině významnosti ($p < 0,05$).

5.4.3 Korelace hodnot parametrů

Pro hodnocené parametry byla určena jejich vzájemná korelace v rámci každé z osmi skupin dat. K určení korelace byl použit Spearmanův korelační koeficient, vyhodnocení síly korelace pak bylo provedeno dle Evansovy příručky (1996).

Následující Tabulka 5.8 prezentuje jen vybrané výsledky Spearmanových korelačních koeficientů pro parametry, u kterých byla zjištěna silná korelace.

Tabulka 5.8: Výběr silně korelujících parametrů pro věkovou skupinu 60-69 let, stoj na tvrdé podložce při otevřených očích.

| Parametr 1 | Parametr 2 | Spearmanův korelační koeficient |
|---|--|---------------------------------|
| Obsah konvexní obálky [mm ²] | Obsah konfidenční elipsy [mm ²] | 0,94 |
| | Obsah obrazce vzniklého metodou kruhu [mm ²] | 0,97 |
| | Planar deviation [mm] | 0,83 |
| | ROM ML [mm] | 0,85 |
| Obsah konfidenční elipsy [mm ²] | Obsah obrazce vzniklého metodou kruhu [mm ²] | 0,90 |
| | Planar deviation [mm] | 0,89 |
| Obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou [mm ²] | Obsah obrazce vzniklého metodou kruhu [mm ²] | 0,81 |
| Planar deviation [mm ²] | Phase plane parameter [-] | 0,93 |
| | Mean AP [mm] | 0,90 |
| ROM ML [mm] | Obsah konfidenční elipsy [mm ²] | 0,85 |
| | Obsah obrazce vzniklého metodou kruhu [mm ²] | 0,83 |

Za velmi silnou korelaci byl považován Spearmanův korelační koeficient větší než 0,8.

Silná korelace byla zjištěna především mezi parametry hodnotícími obsah obrazce vzniklého různými metodami. K těmto parametrům se často řadil také phase plane parameter a planar deviation. Naopak téměř nulovou korelaci se všemi ostatními parametry vykazovaly především sum of maximal deviation time, sklon regresní přímky difuzního stabilogramu a kritický časový interval. Kompletní výsledky jsou uvedeny v souboru *Statistika_2.xlsx*, kde je vedle Spearmanova korelačního koeficientu spočten i jako doplňkový Pearsonův korelační koeficient.

5.4.4 Statistické vyhodnocení hodnot parametrů pádové a nepádové skupiny

Jak již bylo zmíněno výše, data byla rozdělena také na základě počtu případných pádů, tedy na nepádovou a pádovou skupinu. Rozdělení do nepádové a pádové skupiny bylo provedeno opět zvlášť v rámci osmi sledovaných skupin. Pro hodnocené parametry byly poté určeny medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil.

V následujících Tabulkách 5.10, 5.11 a 5.12 jsou prezentovány výsledky statistických charakteristik pro vybrané hodnocené parametry pro nepádovou a pádovou skupinu z věkové skupiny 60-69 a 70-79 let při stoje na tvrdé podložce při otevřených očích.

Tabulka 5.10: Srovnání statistických výsledků pro medián frekvence v ML směru mezi nepádovou a pádovou skupinou v rámci věkové skupiny 70-79 let při stoje na tvrdé podložce při otevřených očích.

| | Nepádová skupina | Pádová skupina |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| Medián [Hz] | 2,55 | 3,37 |
| Maximum [Hz] | 5,03 | 6,49 |
| Minimum [Hz] | 1,12 | 1,70 |
| První kvartil [Hz] | 1,74 | 2,57 |
| Třetí kvartil [Hz] | 3,50 | 3,66 |

Tabulka 5.11: Srovnání statistických výsledků pro rozsah ROM v ML směru mezi nepádovou a pádovou skupinou v rámci věkové skupiny 70-79 let při stoje na tvrdé podložce při otevřených očích.

| | Nepádová skupina | Pádová skupina |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| Medián [mm] | 11,84 | 14,04 |
| Maximum [mm] | 25,36 | 19,58 |
| Minimum [mm] | 6,31 | 8,99 |
| První kvartil [mm] | 10,85 | 10,48 |
| Třetí kvartil [mm] | 12,97 | 15,01 |

Tabulka 5.12: Srovnání statistických výsledků pro obsah konvexní obálky mezi nepádovou a pádovou skupinou ve věkové skupině 70-79 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích.

| | Nepádová skupina | Pádová skupina |
|----------------------------------|------------------|----------------|
| Medián [mm ²] | 157,17 | 193,48 |
| Maximum [mm ²] | 1113,52 | 405,48 |
| Minimum [mm ²] | 54,40 | 101,50 |
| První kvartil [mm ²] | 138,62 | 143,66 |
| Třetí kvartil [mm ²] | 231,06 | 211,78 |

5.4.5 Test rozdílu mezi pádovou a nepádovou skupinou

Hodnocené parametry rozdělené do nepádové či pádové skupiny byly testovány Wilcoxonovým nepárovým testem na 5% hladině významnosti. Souhrn výsledků je prezentován v Tabulkách 5.13 a 5.14 a také v souboru *Statistika_6.xlsx*.

Tabulka 5.13: Výsledky porovnání mezi pádovou a nepádovou skupinou ve věkové skupině 60-69 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích a zavřených očích.

| | 60 EO | 60 EC | 60 MEO | 60 MEC |
|--------------------------------------|-------|-------|---------|--------|
| Median freq ML [Hz] | 0,46 | 0,58 | 0,24 | 0,42 |
| Median freq AP [Hz] | 0,75 | 0,74 | 0,09 | 0,57 |
| Convex hull obsah [mm ²] | 0,92 | 0,67 | 0,34 | 0,59 |
| Leibnitz obsah [mm ²] | 0,36 | 0,92 | 0,36 | 0,56 |
| Mean circle obsah [mm ²] | 0,57 | 0,57 | 0,04* | 0,45 |
| Mean ML [mm] | 0,39 | 0,03* | < 0,01* | 0,99 |
| ROM ML [mm] | 0,45 | 0,40 | 0,27 | 0,97 |
| Mean AP [mm] | 0,82 | 0,88 | 0,50 | 0,17 |
| ROM AP [mm] | 0,95 | 0,83 | 0,28 | 0,33 |
| Phase plane parame. [-] | 0,77 | 0,74 | 0,56 | 0,78 |
| Planar deviation [mm] | 0,94 | 0,40 | 0,42 | 0,85 |
| Angle deviation [°] | 0,98 | 0,42 | 0,23 | 0,49 |
| Turns index [-] | 0,65 | 0,70 | 0,28 | 0,82 |
| Elipsa obsah [mm ²] | 0,71 | 0,67 | 0,42 | 0,61 |
| Path [mm] | 0,57 | 0,97 | 0,09 | 0,36 |
| SDT ML [mm·s] | 0,25 | 0,19 | 0,16 | 0,02* |
| SDT AP [mm·s] | 0,81 | 0,68 | 0,14 | 0,84 |
| Sklon 1 [mm ² /s] | 0,51 | 0,87 | 0,97 | 0,97 |
| Sklon 2 [mm ² /s] | 0,56 | 0,51 | 1,00 | 1,00 |
| Critpoint [s] | 0,20 | 0,36 | 0,73 | 0,33 |
| Romberg [-] | 0,39 | 0,39 | 0,67 | 0,67 |

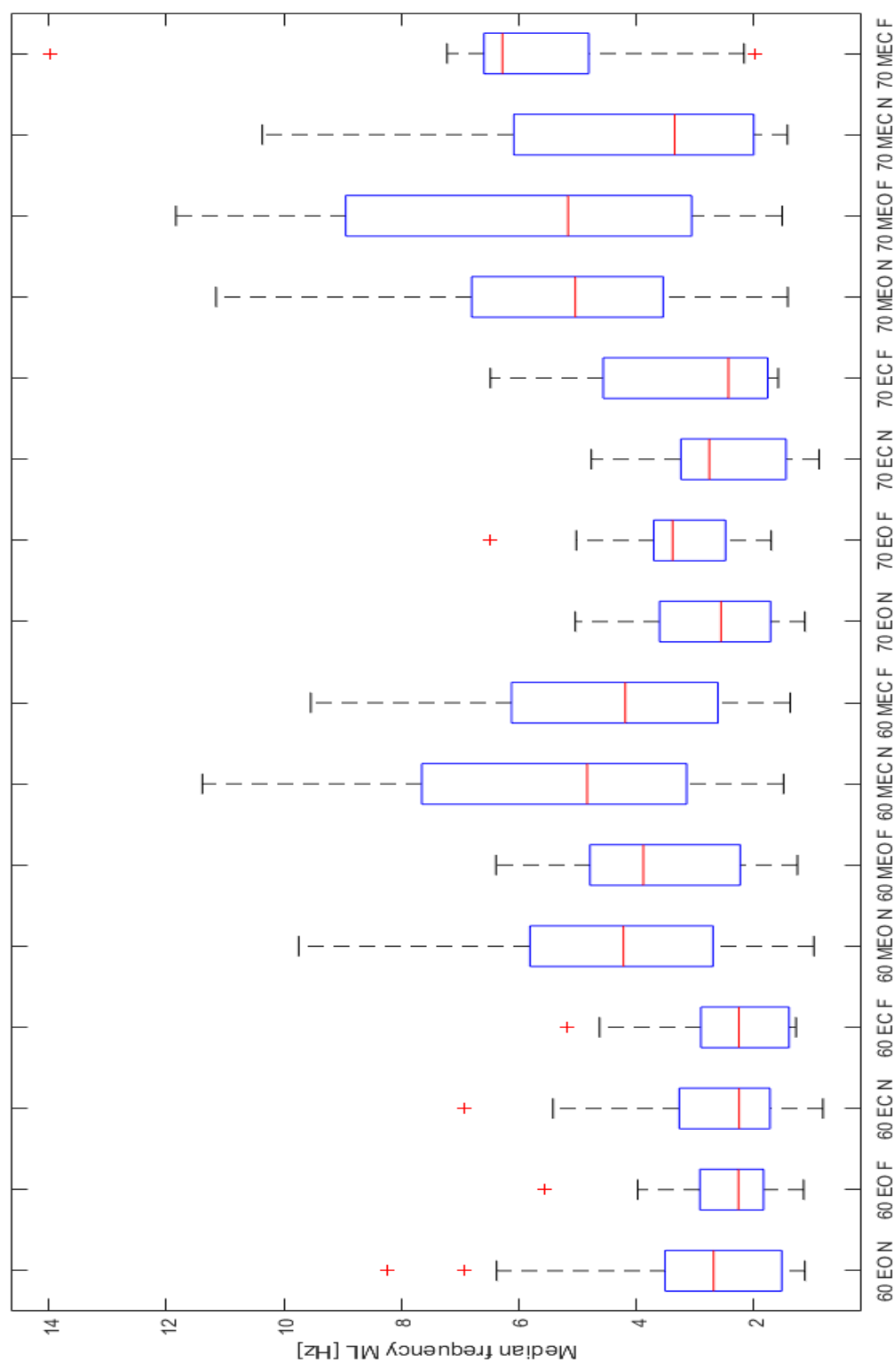
* - statisticky významný rozdíl n 5% hladině významnosti ($p < 0,05$).

Tabulka 5.14: Výsledky porovnání mezi pádovou a nepádovou skupinou ve věkové skupině 70-79 let při stoji na tvrdé podložce při otevřených očích a zavřených očích.

| | 70 EO | 70 EC | 70 MEO | 70 MEC |
|--------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Median freq ML [Hz] | 0,18 | 0,59 | 0,59 | 0,04 |
| Median freq AP [Hz] | 0,55 | 0,44 | 0,98 | 0,10 |
| Convex hull obsah [mm ²] | 0,66 | 1,00 | 0,11 | 0,66 |
| Leibnitz obsah [mm ²] | 0,87 | 0,44 | 0,91 | 0,57 |
| Mean circle obsah [mm ²] | 0,87 | 0,77 | 0,14 | 0,63 |
| Mean ML [mm] | 0,44 | 0,47 | 0,71 | 0,89 |
| ROM ML [mm] | 0,50 | 0,59 | 0,05 | 0,32 |
| Mean AP [mm] | 0,93 | 0,93 | 0,75 | 0,86 |
| ROM AP [mm] | 0,95 | 0,82 | 0,19 | 0,63 |
| Phase plane parame. [-] | 0,77 | 0,93 | 0,01* | 0,68 |
| Planar deviation [mm] | 0,82 | 0,59 | 0,04 | 0,96 |
| Angle deviation [°] | 0,90 | 0,31 | 0,56 | 0,75 |
| Turns index [-] | 0,77 | 0,06 | 0,15 | 0,03* |
| Elipsa obsah [mm ²] | 0,52 | 0,75 | 0,02* | 0,72 |
| Path [mm] | 0,48 | 0,72 | 0,98 | 0,90 |
| SDT ML [mm·s] | 0,62 | 0,04* | 0,09 | 0,67 |
| SDT AP [mm·s] | 0,92 | 0,07 | 0,02* | 0,62 |
| Sklon 1 [mm ² /s] | 0,96 | 0,98 | 0,32 | 0,52 |
| Sklon 2 [mm ² /s] | 0,79 | 0,24 | 0,32 | 0,27 |
| Critpoint [s] | 0,74 | 0,08 | 0,02* | 0,32 |
| Romberg [-] | 0,87 | 0,87 | 0,68 | 0,68 |

* - statisticky významný rozdíl n 5% hladině významnosti ($p < 0,05$).

Statistické hodnocení parametrů rozdělených do nepádových skupin bylo dále provedeno pomocí tzv. krabicových grafů nebo také tzv. boxploty, k jejichž vytvoření slouží funkce *boxplot* integrovaná v prostředí MatLab. Krabicové grafy poskytují vizuální porovnání hodnot mediánů a kvartilů hodnoceného parametru pro dané skupiny. Součástí příloh je složka *Krubicové grafy* obsahující obrázky krabicových grafů pro každý parametr, níže na Obr. 5.1 je prezentován pouze jeden vybraný graf.



Obr 5.1: Boxplot pro medián frekvence v mediolaterálním směru pro nepádové (N) a pádové (F) skupiny. (Červenými křížky jsou vyjádřeny odlehlé hodnoty.)

5.4.6 Korelace hodnocených parametrů s počtem pádů

Jelikož pro každého probanda byl znám údaj o počtu případných pádů, bylo vhodné vyhodnotit korelaci hodnocených parametrů právě s počtem pádů. Stěžejním ukazatelem byl Spearmanův korelační koeficient, pro úplnost byl však určen i Pearsonův korelační koeficient. Na základě korelačních koeficientů byla poté určena střední, případně silná korelace dle příručky Evans (1996).

Korelační koeficienty však v zásadě vyšly velmi malé, resp. odpovídaly slabé až velmi slabé korelaci. Níže v Tabulce 5.15 jsou uvedeny parametry, pro něž je Spearmanův korelační koeficient větší než 0,4. Souhrn všech výsledků je pak uveden v souboru *Statistika_4.xlsx*.

Tabulka 5.15: Souhrn parametrů, pro které je Spearmanův korelační koeficient větší než 0,4.

| | Parametr | Spearmanův korelační koeficient |
|--------|---------------------------------|--|
| 70 MEC | ROM AP [mm] | 0,41* |
| | Elipsa obsah [mm ²] | 0,42* |
| | Critpoint [s] | 0,43* |
| 60 EC | SDT AP [mm·s] | 0,50* |
| | Sklon 1 [mm ² /s] | 0,61** |
| | Sklon 2 [mm ² /s] | 0,59* |
| 60 MEO | SDT AP [mm·s] | 0,47* |
| 60 MEC | SDT ML [mm·s] | 0,47* |

* - střední korelace; ** - silná korelace;

5.5 Závěr kapitoly

Hodnocená data byla získána měřením subjektů při stoji na dvou stabilometrických plošinách při zavřených a otevřených očích na tvrdém povrchu plošiny a na měkké podložce, která byla umístěna na plošinách. Celkem se jednalo o 137 probandů, resp. o 1227 datových souborů, které byly vyhodnoceny navrženými metodami.

Z velkého množství kvantitativních ukazatelů, které jsem navrhla a implantovala v prostředí MatLab, jich bylo do statistického hodnocení zahrnuto jen omezené množství, konkrétně 21, a to po dohodě s Fakultou tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Rovněž byly vybrány jen některé skupiny probandů, resp. ženy 60-69 let a ženy 70-79 let pro všechny podmínky měření (tzn. celkem osm skupin dat). Shapiro-Wilkův test nepotvrdil, že data mají normální rozdělení, čemuž byl přizpůsoben následující výběr statistických hodnocení:

- Wilcoxonův nepárový test rozdílu hodnot parametrů mezi věkovými skupinami pro jednotlivé podmínky měření (5% hladina významnosti);
- Korelace hodnocených parametrů (pomocí Spearmanova korelačního koeficientu);
- Medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil pro hodnocené parametry v každé skupině dat;
- Korelace hodnot parametrů s počtem pádů (pomocí Spearmanova korelačního koeficientu);
- Medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil pro hodnocené parametry pro nepádové a pádové skupiny;
- Wilcoxonův nepárový test rozdílu hodnot parametrů mezi nepádovou a pádovou skupinou.

Výsledky statistického hodnocení dokázaly statisticky významný rozdíl pro některé parametry zejména pro stoj na měkké podložce při otevřených očích, a to jak věkovými tak pádovými skupinami. Naopak pro stoj na tvrdé podložce při otevřených očích nebyl žádným hodnocením zjištěn významnější rozdíl mezi podmínkami měření.

6 Diskuse

Na základě rešerše byly navrženy metody vhodné k hodnocení dat získaných stabilometrickým systémem. Metody hodnocení bylo možné obecně rozdělit na metody sloužící k hodnocení dat v časové oblasti, ve frekvenční oblasti a metody pro hodnocení vzájemného vývoje dvou měřených veličin. Souhrn metod je dle tohoto rozdělení postupně prezentován v kapitolách 2.1, 2.2 a 2.3. Všechny navržené metody byly implementovány do prostředí MatLab včetně jejich první a druhé derivace.

Mezi nejjednodušší avšak velmi často využívané metody pro hodnocení dat v časové oblasti patří různé statistické charakteristiky, jako jsou střední hodnota, směrodatná odchylka, medián, maximum, minimum, kvartily či root mean square. Vedle těchto kvantitativních ukazatelů jsem pro účely práce dále zvolila parametr ROM a délku křivky, které umožňují rychlou orientaci a patří tak mezi historicky nejdříve sledované parametry. Z délky křivky pak lze určit průměrnou rychlost vychylování CoP, což může být rovněž přínosnou hodnotou, která se v praxi začíná uplatňovat.

Metody pro hodnocení dat v časové oblasti ze své podstaty slouží k aplikaci zvlášť pro mediolaterální a anteroposteriorní směr, díky čemuž je možné okamžitě určit, jakým směrem se má CoP tendenci více vychylovat. Mezi další výhody patří rychlost výpočtu a snadná interpretace, naopak jako nevýhodu lze případně označit velmi omezenou možnost grafických výstupů.

Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti jsou prezentovány v kapitole 2.2 a souvisí především s výkonovou spektrální hodnotou. Metody hodnotí přednostně obsah plochy pod spektrální křivkou a procentuální zastoupení této plochy z plochy celkové na zvolených intervalech. Frekvenční analýza byla doplněna ještě o výpočet střední hodnoty a mediánu frekvence.

Parametry hodnocené ve frekvenční oblasti podávají přínosnou informaci typicky u některých onemocnění, ale lze je s výhodou použít pro hodnocení dat jakýchkoliv subjektů, v našem případě zdravých starších subjektů. Výpočetní algoritmus je poměrně rychlý, grafické výstupy jsou stejně omezené jako v případě metod pro hodnocení v časové oblasti.

Metody pro hodnocení vzájemného vývoje dvou veličin jsou uvedeny v kapitole 2.3. Těchto metod je bezesporu nejvíce a jsou nejrozmanitější z hlediska principu, časové náročnosti či složitosti implementace. V této práci jsme použila parametry planar deviation, phase plane parameter, turns index, celkovou délku křivky a angle deviation from AP sway, jejichž společnou vlastností je, že neposkytují grafický výstup a jsou principiálně jednodušší.

Další použitou metodou je Rombergův kvocient, ovšem v upravené formě, u které byly dokázány nejspolehlivější výsledky. Ze všech navržených metod tato metoda jako jediná dává v souvislost data naměřená při zavřených očích a data naměřená při otevřených očích, což je zajisté jejím největším přínosem. Jelikož tedy algoritmus vyžaduje dva datové soubory, je doba výpočtu ovšem velmi dlouhá. Kvantitativní výstup metody je velmi snadno interpretovatelný a poskytuje okamžité určení míry vizuální podpory okolí při udržování posturální stability.

Část metod pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin se soustředí obecně na obsah plochy obrazce odlišujícího se principem konstrukce. Pro účely práce byly vybrány obsah konvexní obálky, obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou a metodou kruhu a obsah 95% konfidenční elipsy. U konfidenční elipsy byl dále hodnocen poloměr a sklon hlavních a vedlejších poloos. Všechny tyto metody poskytují velmi názorné grafické výstupy.

Nepříliš rozšířeným parametrem je SDT (tj. sum of maximal deviation time). Tento parametr je však velmi přínosný, neboť kromě velikosti výchylky CoP zohledňuje také dobu, po kterou se CoP nacházelo v určité výchylce, přičemž o hodnotě parametru rozhoduje samozřejmě největší výchylka CoP trvající nejdelší čas.

Poslední použitá metoda pracuje s výchylkami CoP ve formě difuzního stabilogramu, což představuje analogii k Brownově pohybu částic. Princip i implementace této metody patří mezi nejsložitější ze všech použitých metod, avšak poskytuje zajímavý grafický výstup i kvantitativní ukazatele.

Všechny výše uvedené metody hodnocení byly v prostředí MatLab upraveny pro hodnocení dat ze stabilometrického systému a na základě jejich předběžné aplikace na testovací data bylo ověřeno, že poskytují validní výsledky, které lze použít pro hodnocení v klinické praxi.

Data určená k hodnocení navrženými metodami byla získána z Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Jednalo o skupinu 137 starších probandů, kteří podstoupili měření dle metodiky popsané v kapitole 5.1. Vzhledem ke skutečnosti, že každý subjekt byl až na výjimky měřen dvakrát za každých podmínek, bylo celkem vyhodnoceno 1227 souborů dat. Poté co byly vyhodnocené parametry rozděleny dle věku a pohlaví probandů a podmínek měření, bylo otestováno normální rozdělení pomocí Shapiro-Wilkova testu. Test nepotvrdil, že data mají normální rozdělení, čemuž musel být přizpůsoben výběr statistických vyhodnocení.

Zastoupení žen a mužů bylo ve velkém nepoměru, resp. počet mužů ve všech věkových skupinách byl malý. Po otestování Wilcoxonovým nepárovým testem však nebylo možné skupiny jakkoli sloučit, a proto muži nebyli do statistické analýzy vůbec zahrnuti. Ze stejného důvodu byla vyřazena i skupina žen nad 80 let. Statistické hodnocení tedy bylo provedeno pro osm skupin dat, resp. pro ženy 60-69 let za všech

podmínek měření (tj. otevřené/zavřené oči, tvrdá/měkká podložka) a pro ženy 70-79 let rovněž za všech podmínek měření. Z velkého množství kvantitativních ukazatelů, které jsou výstupem navrženého skriptu v prostředí MatLab, byly pro statistickou analýzu vybrány jen některé parametry, viz Tabulka 5.2.

Jako první byl proveden Wilcoxonův nepárový test na 5% hladině významnosti pro hodnocené parametry mezi věkovou skupinou žen 60-69 a 70-79 let, pro dané podmínky měření. Z Tabulky 5.6 shrnující výsledky pro stoj na tvrdé podložce je patrné, že v případě zavřených očí lze pozorovat statisticky významné rozdíly u více parametrů než v případě otevřených očí. Konkrétně pro zavřené oči se jedná o obsah konvexní obálky, obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou a metodou kruhu, obsah konfidenční elipsy, ROM v mediolaterálním i anteroposteriorním směru, angle deviation from AP sway, planar deviation a phase plane parameter. Pro otevřené oči vyšel statisticky významný rozdíl jen v případě obsahu konvexní obálky, obsahu obrazce vzniklého metodou kruhu, obsahu konfidenční elipsy a sklonu regresní přímky difuzního stabilogramu před kritickým bodem. Tabulka 5.7 shrnuje výsledky pro stoj na měkké podložce. Oproti očekávání vyšel statisticky významný rozdíl pro výrazně více parametrů v případě otevřených očí, resp. to byly následující parametry: medián frekvence v mediolaterálním směru, obsah konvexní obálky, obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou a metodou kruhu, obsah konfidenční elipsy, rozsah ROM v mediolaterálním i anteroposteriorním směru, phase plane parameter, planar deviation, angle deviation from AP sway, turns index a sklon difuzního stabilogramu před kritickým bodem. Pro otevřené oči byl zjištěn statisticky významný rozdíl jen pro obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou. Na základě výsledků Wilcoxonova nepárového testu lze konstatovat, že statisticky významné rozdíly byly nejčastěji shledány u parametrů obecně hodnotících obsah obrazce.

Pro hodnocené parametry byla spočtena jejich vzájemná korelace pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Pokud vyšel korelační koeficient větší než 0,8, byly parametry určeny jako silně korelující. Na základě porovnání koeficientů v rámci hodnocených skupin lze konstatovat, že silně korelují parametry obecně hodnotící obsah obrazce sestaveného různými principy, tj. konvexní obálka, konfidenční elipsa, obrazec vzniklý Leibnitzovou metodou a obrazec vzniklý metodou kruhu. Téměř nulová korelace pak byla zjištěna především u parametrů sum of maximal deviation time, sklon regresní přímky difuzního stabilogramu a kritický časový interval.

V rámci každé z osmi skupin dat byly určeny základní statistické charakteristiky vybraných parametrů, a to konkrétně medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil. V kapitole 5.4.1. je prezentováno srovnání jen tří vybraných parametrů mezi věkovou skupinou 60-69 let a 70-79 let při stožení na tvrdé podložce při otevřených očích. Z uvedených Tabulek 5.3, 5.4 a 5.5 je patrné, že v případě starší věkové skupiny jsou hodnoty výsledných statistických charakteristik vyšší, resp. mají větší rozsah hodnot

než v případě věkové skupiny do 69 let. Toto tvrzení platí obecně pro většinu parametrů v každé z osmi hodnocených skupin. Srovnání bylo možné provést také mezi jednotlivými podmínkami měření, přičemž lze říci, že při stoji při zavřených očích a při stoji na měkké podložce jsou hodnoty statistických charakteristik vyšší. Takové zjištění odpovídá mému očekávání, neboť při stoji při zavřených očích člověk přichází o možnost vizuální podpory posturální stability, což má přímý vliv na velikost naměřených výchylek CoP, tedy i na velikost hodnocených parametrů, resp. na jejich statistické vyhodnocení. Udržet posturální stabilitu při stoji na měkké podložce je složitější už jen z podstaty použitého materiálu podložky, který se pružně deformuje, což se opět projeví na vyšších naměřených hodnotách výchylek CoP.

Pro hodnocené probandy byla k dispozici i informace o počtu prodělaných pádů, proto se zdálo být vhodné a zajímavé ověřit korelaci mezi hodnocenými parametry a právě počtem pádů. Jelikož data nemají normální rozdělení, byl pro toto statistické vyhodnocení použit Spearmanův korelační koeficient. Za střední korelaci byl pak považován koeficient větší než 0,4, za silnou korelaci koeficient větší než 0,6. Navzdory očekávání byla zjištěna střední korelace jen u malého počtu parametrů, a to zcela rozdílně v rámci osmi hodnocených skupin. Silná korelace se týkala jen jednoho parametru, kterým byl sklon regresní přímky difuzního stabilogramu před kritickým bodem, pro věkovou skupinu 60-69 let při stoji na tvrdé podložce při zavřených očích. Zbylé korelační koeficienty odkazují na slabou až velmi slabou korelaci. Pro úplnost byla korelace určena také pomocí Pearsonova korelačního koeficientu.

Pro další statistické hodnocení byli probandi v každé z osmi hodnocených skupin rozdělení podle počtu pádů, tedy na skupinu s žádným pádem, s jedním pádem, s dvěma pády, třemi pády a případně s čtyřmi pády. Takto rozdělená data včetně spočtených statistických charakteristik jsou uvedena v souboru *Rozdělení_pocet_padu.xlsx*. Pro další hodnocení dat rozdělených podle počtu pádů jsem použila Kruskal-Wallisův test, což je neparametrická obdoba testu ANOVA. Tento test jsem použila, protože nepředpokládá normální rozdělení dat. Testování bylo provedeno na 5% hladině významnosti, proto jsem sledovala parametry, u kterých vyšla p- hodnota menší než 0,05. Statisticky významné rozdíly však byly zjištěny pouze u dvou parametrů. Příčinou je nejspíš velmi malý počet dat ve skupinách s vyšším počtem pádů (tj. dva až čtyři pády). Z tohoto důvodu jsem nakonec toto vyhodnocení do výsledků statistické analýzy nezahrnula. Je však k dispozici v souboru *Statistika_7.xlsx*.

Jelikož byly skupiny rozdělené podle počtu pádů nerovnoměrně velké, bylo pro další statistické hodnocení provedeno rozdělení pouze na dvě skupiny, a to na nepádovou a pádovou skupinu. Do nepádové skupiny byli zařazeni probandi s nulovým počtem prodělaných pádů a do pádové skupiny probandi s nenulovým počtem pádů. Toto rozdělení bylo provedeno vždy v rámci osmi hodnocených skupin. Pro takto rozdělené parametry byly spočteny statistické charakteristiky, tj. medián, maximum,

minimum, první a třetí kvartil. V Tabulkách 5.10, 5.11 a 5.12 jsou uvedeny výsledky jen pro vybrané parametry pro jednu z osmi hodnocených skupin. Toto srovnání však názorně prezentuje obecný trend, tedy že pro pádové skupiny jsou hodnoty statistických charakteristik hodnocených parametrů větší než v případě nepádové skupiny. Toto zjištění by mohlo souviset s předpokladem, že probandi s prodělaným pádem mají již horší schopnost zachovat posturální stabilitu, což se přes velikosti výchylek CoP samozřejmě projeví i na výsledných statistických charakteristikách.

Na závěr byl proveden Wilcoxonův nepárový test hodnocených parametrů mezi výše zmíněnou nepádovou a pádovou skupinou na 5% hladině významnosti. Ve srovnání s výsledky dat rozdělených podle počtu pádů byl statisticky významný rozdíl zjištěn u více parametrů. Pro věkovou skupinu 60-69 let to byly následující parametry:

- Mean ML (EC);
- Obsah obrazce vzniklého metodou kruhu (MEO);
- Mean ML (MEO);
- Sum of maximal deviation time (MEC).

Pro věkovou skupinu 70-79 let byly statisticky významné rozdíly zjištěny u následujících parametrů:

- Sum of maximal deviation time (EC);
- Phase plane parameter (MEO);
- Planar deviation (MEO);
- Obsah konfidenční elipsy (MEO)
- Sum of maximal deviation time (MEO);
- Kritický časový interval (MEO);
- Medián frekvence ML (MEC);
- Turns index (MEC).

Přestože jsem očekávala, že parametrů se zjištěným statisticky významným rozdílem mezi nepádovými a pádovými skupinami bude více, lze ze získaných výsledků vyvodit závěry, které by mohly být přínosem pro klinickou praxi. Z Tabulek 5.13 a 5.14 je patrné, že pro stoj na tvrdé podložce při otevřených očích nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl pro žádný parametr. V případě stoje na tvrdé podložce při zavřených očích byl shodně pro obě věkové skupiny zjištěn statisticky významný rozdíl pro jeden parametr. Pro stoj na měkké podložce je zajímavým výsledkem, že bylo určeno více parametrů se statisticky významným rozdílem v případě otevřených očí. Souhrnně pak lze tvrdit, že významnější rozdíly jsou zjištěny při stoji na měkké podložce. Důležitým výsledkem mé práce také je, že pro starší věkové skupiny zdravých subjektů mohou určené parametry posloužit jako „norma“ v klinické praxi při diagnóze a v rámci rehabilitačního procesu starších pacientů.

7 Závěr

7.1 Naplnění cílů práce

Pro hodnocení dat ze stabilometrického systému byly navrženy metody vhodné pro použití v klinické praxi. Metody byly rozděleny do jedné ze tří skupin podle toho, zda slouží pro hodnocení dat v časové oblasti, frekvenční oblasti nebo pro hodnocení vzájemného vývoje dvou veličin. Metody pro hodnocení dat v časové oblasti byly především statistické charakteristiky, a to konkrétně střední hodnota polohy CoP, medián, kvartily, maximum, minimum a root mean square. Dalšími sledovanými parametry byla délka křivky, rozsah ROM a rychlost vychylování CoP. Pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti byly zvoleny metody, jež určují obsah plochy pod spektrální křivkou a procentuální zastoupení této plochy z celkové plochy na daném frekvenčním intervalu. Dalšími zjišťovanými ukazateli byly střední hodnota a medián frekvence. Pokud se týče metod pro hodnocení vzájemného vývoje dvou veličin, byly použity následující metody: phase plane parameter, planar deviation, angle deviation from AP sway, turns index, Rombergův kvocient a sum of maximal deviation time. Následující použité metody se zabývaly obecně výpočtem obrazců, jejichž konstrukce se principiálně lišila. Těmito parametry byly obsah konvexní obálky, obsah obrazce vzniklého Leibnitzovou metodou, obsah a poloměr obrazce vzniklého metodou kruhu, obsah, poloměr a sklon hlavních a vedlejších os konfidenční elipsy. Další parametry souvisely s interpretací naměřených výchylek ve formě difuzního stabilogramu. Kvantitativními ukazateli byly kritický časový interval a sklon regresní přímky spojující body za tímto kritickým časovým intervalem.

Všechny výše uvedené metody byly implementovány do prostředí MatLab a celý skript byl upraven tak, aby byl připraven pro vyhodnocení dat ze stabilometrického systému. Je zajištěna řada grafických výstupů, jejich ukládání a ukládání všech ostatních kvantitativních ukazatelů. Pro použití navržených metod je navržena metodika měření a hodnocení posturální stability.

Navržené metody byly aplikovány na data, která byla získána měřením 137 probandů z Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Probandi byli měřeni při stožení na dvou stabilometrických plošinách AMTI OR6-7, a to na tvrdé a měkké podložce při zavřených a otevřených očích. Každý subjekt navíc podstoupil měření za každé podmínky alespoň dvakrát, celkem tedy bylo vyhodnoceno 1227 datových souborů.

Pro probandy byly dostupné informace o jejich pohlaví, věku a počtu pádů, čehož bylo využito ve statistickém hodnocení. Z důvodu malého počtu mužů obecně a žen nad 80 let byly do statistické analýzy zahrnuty pouze ženy ve věkových skupinách 60-69 let

a 70-79 let, za všech čtyř podmínek měření. Rovněž byl do analýzy zahrnut pouze omezený výběr hodnocených parametrů, neboť jich bylo velké množství.

Po porovnání výsledků statistického vyhodnocení bylo zjištěno, že existují statisticky významné rozdíly hodnocených parametrů mezi jednotlivými podmínkami měření, a to zejména pro stoj na tvrdé podložce při zavřených očích a pro stoj na měkké podložce při otevřených očích. Obdobná tendence byla sledována i ve statistických charakteristikách parametrů, jejichž hodnoty pro výše zmíněné podmínky byly vyšší, resp. měly větší rozsah hodnot. U parametrů hodnotících obsah obrazce byla dokázána silná korelace. Pro data rozdělená podle počtu pádů byla zjištěna korelace jen pro malý počet parametrů. V případě hodnocení dat rozdělených jen na dvě skupiny, tj. na nepádovou a pádovou skupinu, bylo dokázáno, že hodnoty statistických charakteristik hodnocených parametrů byly pro pádovou skupinu vyšší, resp. měly větší rozsah hodnot. Statisticky významný rozdíl hodnocených parametrů mezi nepádovou a pádovou skupinou byl zaznamenán nejčastěji pro stoj na měkké podložce při otevřených očích pro věkovou skupinu od 70 do 79 let. Naopak pro stoj na tvrdé podložce při otevřených očích nebyl dokázán žádný statisticky významný rozdíl ani pro jednu věkovou skupinu.

7.2 Perspektiva dalšího řešení

Navrhla jsem univerzální metody a postupy hodnocení posturální stability stabilometrickými plošinami, které mohou být použity i na hodnocení dat z jiných typů plošin, než které jsem použila ve své práci. Obdobně, i mnou navržený SW je univerzální a nabízí hodnocení dat ze stabilometrických plošin a to bez ohledu na typ skupiny měřených probandů. Tradiční i zaváděné a v SW implementované parametry umožňují v klinické praxi hodnotit posturální stabilitu v rámci diagnostiky a rehabilitace řady poruch způsobující nestabilitu těla během vzpřímeného stoje. V tomto ohledu je vhodné provádět měření i jiných věkových skupin pro stanovení „normy“ hodnot parametrů, a následně využít hodnoty parametrů pro diagnostiku a během rehabilitace. Samozřejmě se také nabízí možnost aplikovat další parametry pro hodnocení posturální stability stoje do mnou vytvořeného SW, a tyto parametry porovnat s parametry implementovanými, a stanovit jejich vhodnost pro klinickou praxi.

Seznam použité literatury

1. Balance-pad, 2017. *AIREX: Academy* [online]. Švýcarsko [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <https://www.my-airex.com/en/products/detail/13/balance-pad>
2. BORG, F, 2002. *The Confidence 95 Ellipse* [online]. Finland [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www1.udel.edu/biology/rosewc/kaap686/reserve/cop/center%20of%20position%20conf95.pdf>. Bioproject. Chydenius Institute.
3. BROGLIO, S. P. a T. W. PUETZ, 2008. The effect of sport concussion on neurocognitive function self-report of symptoms and postural control: A meta analysis. *Sports Medicine* [online]. **38**(1), 53-67 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200838010-00005>
4. COLLINS, J.J. a J.D. DE LUCA, 1995. Upright, correlated random walks: A statistical-biomechanics approach to the human postural control system. *CHAOS* [online]. Boston, USA, **5**(1), 56-63 [cit. 2017-05-17]. DOI: 10.1063/1.166086. Dostupné z: http://www.delsys.com/Attachments_pdf/nmrc/files/2010/04/068.pdf
5. EVANS, James D., 1996. *Straightforward statistics for the behavioral sciences* [online]. Pacific Grove: Brooks/Cole Pub. Co [cit. 2017-05-17]. ISBN 0534231004 9780534231002. Dostupné z: <http://www.worldcat.org/title/straightforward-statistics-for-the-behavioral-sciences/oclc/32465263>
6. HAIN, Timothy, 2016. Romberg Test for Imbalance. In: *Information about dizziness, balance and hearing* [online]. [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: <http://www.dizziness-and-balance.com/practice/Romberg%20test.html>
7. Home Products Multi Axis Force Platforms Special Applications Instrumentation Submersible Promotions FAQs Gallery Events Contact Us Distributors Product Enquiry Links Privacy Policy Site Map USA Site OR6-7 Force Platform, c2017. *AMTI: FORCE AND MOTION* [online]. Velká Británie [cit. 2017-05-4]. Dostupné z: <http://www.amti.uk.com/products/or6-7-force-platform.php>
8. HORAK, Fay, Diane WRISLEY a James FRANK, 2009. The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to Differentiate Balance Deficits. *Physical Therapy: Journal of the American Physical Therapy Association* [online]. **5**(89), 484-498 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2676433/>

9. Určování polohy těžiště stabilometrickou plošinou. KUTÍLEK, Patrik a Adam ŽIŽKA. *Vybrané kapitoly z experimentální biomechaniky* [online]. Česká technika, 2012, s. 80-85 [cit. 2016-11-05]. ISBN 978-80-01-04993-8. Dostupné z:
http://esf.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/KA03_6_Urcovani_polohy_teziste_stabilometrickou_plošinou_komplet.pdf
10. RAYMAKERS, J.A., M.M. SAMSON a H.J.J. VERHAAR, 2005. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait and Posture* [online]. (21), 48-58 [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/330207211/Sway-Parame>
11. ROCCHI, Laura, Angelo CAPPELLO a Fay HORAK, 2006. Identification of distinct characteristics of postural sway in Parkinson's disease: A feature selection procedure based on principal component analysis. *Neuroscience Letters* [online]. 2(394), 140-145 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304394005011869>
12. SCHUBERT, Patric, Marietta KIRCHNER, Dietmar SCHMIDTBLEICHER a Christian T. HAAS, 2012. About the structure of posturography: Sampling duration, parametrization, focus of attention (part I). *Journal of Biomedical Science and Engineering* [online]. 05(09), 496-507 [cit. 2016-11-15]. DOI: 10.4236/jbise.2012.59062. ISSN 1937-6871. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/jbise.2012.59062>
13. TJERNSTRÖM, Fredrik, Mans BJÖRKLUNDA a Eva-Maj MALMSTRÖM, 2015. Romberg ratio in quiet stance posturography—Test to retest reliability. *Gait & Posture* [online]. 1(42), 27-31 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.gaitposture.com/article/S0966-6362\(14\)00790-5/fulltext](http://www.gaitposture.com/article/S0966-6362(14)00790-5/fulltext)
14. VLČKOVÁ, Klára, 2016. *Hodnocení posturální stability pacientů s využitím ukazatelů stability a kamerového systému záznamu pohybu hlavy a ramen*. Kladno. Diplomová práce (Ing.), ČVUT, Fakulta biomedicínského inženýrství.
15. WOLLSEIFEN, Thomas, 2013. Different methods of calculating body sway area. *Pharmaceutical Programming* [online]. 4(1-2), 91-106 [cit. 2016-12-30]. DOI: 10.1179/175709311X13166801334271. ISSN 1757-0921. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/175709311X13166801334271>

Příloha A: Obsah přiloženého CD

Přehled příloh k práci na CD:

Rozdělení_počet_pádů.xlsx- Výchozí souhrn hodnocených parametrů určených ke statistickému zhodnocení v souvislosti s počtem pádů subjektů.

Rozdělení_pádové_skupiny.xlsx- Výchozí souhrn hodnocených parametrů sloužících ke statistickému zhodnocení, jež předpokládá rozdělení subjektů do nepádových a pádových skupin.

Statistika_1.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí Wilcoxonova nepárového testu ke zjištění statisticky významných rozdílů mezi věkovými skupinami pro jednotlivé podmínky měření.

Statistika_2.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí Spearmanova a Pearsonova korelačního koeficientu pro zjištění míry korelace mezi jednotlivými hodnocenými parametry.

Statistika_3.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí statistických charakteristik (medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil) ke zjištění rozdílů mezi věkovými skupinami a podmínkami měření.

Statistika_4.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí Spearmanova a Pearsonova korelačního koeficientu pro zjištění míry korelace mezi hodnocenými parametry a počtem pádů.

Statistika_5.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí statistických charakteristik (medián, maximum, minimum, první a třetí kvartil) ke zjištění rozdílů mezi nepádovými a pádovými skupinami v rámci věkových skupin a jednotlivých podmínek měření.

Statistika_6.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí Wilcoxonova nepárového testu ke zjištění statisticky významných rozdílů mezi nepádovými a pádovými skupinami v rámci věkových skupin a podmínek měření.

Statistika_7.xlsx- Statistické zhodnocení hodnot parametrů měřených subjektů pomocí Kruskal-Wallisova testu ke zjištění statisticky významných rozdílů mezi skupinami dat rozdělených podle počtu pádů v rámci věkových skupin a podmínek měření.

Zpracovaná_data.xlsx- Souhrn vyhodnocených dat navrženým skriptem pro všech 137 probandů, tj. 1227 zpracovaných soborů, na něž byly aplikovány všechny navržené metody.

Přehled složek přiložených na CD:

Krabicové grafy- Obrázky krabicových grafů pro hodnocené parametry, které byly vybrány ke statistickému vyhodnocení.

Grafické výstupy z MatLabu- Obrázky grafických výstupů navržených metod ze SW.

MatLab skript obsahující:

SOUHRN_METOD.m- Skript s implementovanými navrženými metodami;

ID2200 EC1.mat- soubor naměřených dat zvoleného subjektu.