

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

**Posturální stabilizace a rovnováha – teoretická východiska  
problematiky a vymezení pojmů (řešeršní práce)**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:  
**MUDr. Eugen Rašev, Ph. D.**

Vypracovala:  
**Bc. Jana Uhlíková**

Praha, 2016

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracovala samostatně, pod vedením MUDr. Eugena Raševa, Ph. D. a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne .....

Bc. Jana Uhlíková

.....

## Evidenční list

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

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

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce, panu MUDr. Eugenu Raševovi, Ph. D. za odborné vedení, cenné poznámky a podněty k tvorbě diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala paní doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc. za její ochotu a vstřícnost při konzultacích k diplomové práci.

## Abstrakt

**Název:** Posturální stabilizace a rovnováha – teoretická východiska problematiky a vymezení pojmů (rešeršní práce)

**Cíle:** Cílem diplomové práce je podat přehled o problematice terminologie posturální stabilizace a rovnováhy a zjistit, čím se odlišuje rovnováha a posturální řízení. Práce by měla shrnout a analyzovat domácí a zahraniční literaturu, včetně aktuálně publikovaných studií. Dále se práce zabývá v současnosti nejpoužívanějšími metodami k hodnocení posturální stabilizace a rovnováhy pomocí přístrojové techniky.

**Metody:** Práce je zpracována formou literární rešerše. Je rozdělena do několika částí. Úvodní část se věnuje přehledu současné terminologické situace a představuje teoretická východiska problematiky. Deskriptivně – analytická část shrnuje a rozebírá v současnosti nejpoužívanější přístrojové metody pro hodnocení posturální stabilizace a rovnováhy. Shrnutí problematiky a výsledků práce je podrobně popsáno v diskusi.

**Výsledky:** Celkový počet vyhledaných studií podle zadaných požadavků byl 104, z nichž pouze 12 jich vyhovovalo stanoveným kritériím pro zařazení do diplomové práce. V současné době se k měření posturální stability a posturální kontroly používají metody dynamické posturografie a vizuální zpětnovazebné posturografie. V publikovaných studiích panují značné odlišnosti ve výběru hodnocených parametrů a snímaných dat pomocí posturografie. Dále byl zjištěn rozpor v názorech jednotlivých autorů a nejednotnost definic klíčových pojmů.

**Klíčová slova:** posturální stabilizace, posturální stabilita, rovnováha, balance, stabilita statická, stabilita dynamická, posturální řízení, hodnocení rovnováhy, hodnocení posturální stability, posturografie, stabilometrie

## **Abstract**

**Title:** Postural stabilization and balance – theoretical background and definitions (literature review)

**Objectives:** The aim of this theses is to investigate the present situation of theoretical background of postural stabilization and balance and find out the differences between both of these phenomenons. The theses should summarize the current literature including the newest studies. Furthermore, it discusses the most used computerized measurements methods for assessing balance and postural control.

**Methods:** The theses has character of literature review. It is divided into several parts. The beginning introduces the theoretical background. The descriptive and analytical chapter discuss the most used computerized measurement methods for assessing balance and postural control. The discussion summarizes the current situation and results of the theses.

**Results:** The total amount of the 104 studies was found, but only 12 of them met the criteria of the theses. Currently the most used methods for assessing balance and postural control are the computerized dynamic posturography and the visual feedback posturography. In the published studies there were found several differences in the methods of posturography. Even, there was revealed ideological diversity in the authors' opinions and disunity in definitions of the key concepts.

**Keywords:** postural stability, postural stabilization, balance, equilibrium, static stability, dynamic stability, postural control, posturography, equilibrium, posture control, assessment methods of equilibrium, measurement of postural stability, posturography, stabilometry

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| 1 Úvod.....  | 9  |
| 2 Teoretická východiska problematiky .....   | 11 |
| 2.1 Posturální stabilizace a rovnováha v biomechanice.....                                 | 11 |
| 2.1.1 Rovnováha lidského těla .....  | 12 |
| 2.1.2 Těžiště lidského těla.....   | 14 |
| 2.1.3 COG – Center of Gravity – těžiště lidského těla .....                                | 15 |
| 2.1.4 COP – Center of pressure.....  | 16 |
| 2.1.5 COM - Center of body mass .....  | 17 |
| 2.1.6 Balance.....   | 18 |
| 2.1.7 Stabilita .....  | 18 |
| 2.1.8 Stoj ve vertikální poloze .....  | 20 |
| 2.1.9 Souhrn pojmů.....  | 21 |
| 2.2 Neurofyziologické procesy v řízení posturální kontroly, stabilizace a rovnováhy.....   | 23 |
| 2.2.1 Řízení rovnováhy vzpřímeného stoje.....  | 23 |
| 2.2.2 Senzorický systém.....   | 25 |
| 2.3 Posturální stabilizace a rovnováha z pohledu kineziologie a funkční anatomie .....     | 31 |
| 2.3.1 Posturální systém .....  | 32 |
| 2.3.2 Postura a její kontrola .....  | 32 |
| 2.3.3 Stabilizace .....  | 35 |
| 2.3.4 Posturální stabilita a její dělení .....   | 39 |
| 2.3.5 Balance a rovnováha .....  | 42 |
| 2.3.6 Lidské tělo ve vertikální pozici – stoj .....  | 42 |
| 2.4 Měření a hodnocení rovnováhy a posturální stabilizace pomocí přístrojové techniky..... | 45 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.4.1 | Přístrojová dynamometrie .....   | 45 |
| 2.4.2 | Diagnostika a hodnocení rovnováhy a stability v otoneurologii.....   | 57 |
| 2.5   | Vymezení pojmů .....   | 59 |
| 2.5.1 | Terminologie v dostupné literatuře české i zahraniční .....  | 59 |
| 3     | Metodologie práce.....   | 64 |
| 3.1   | Cíle práce .....   | 64 |
| 3.2   | Vědecké otázky .....   | 64 |
| 3.3   | Kritéria pro výběr studií.....   | 64 |
| 3.4   | Limity diplomové práce .....   | 66 |
| 3.5   | Řešení práce a zpracování výsledků .....   | 66 |
| 4     | Výsledky .....   | 67 |
| 4.1   | Posturografické metody pro hodnocení posturální stability a posturální kontroly u muskuloskeletálních poruch .....   | 67 |
| 4.2   | Posturografické metody pro hodnocení posturální stability a posturální kontroly u neurologických onemocnění.....   | 75 |
| 4.3   | Posturografické metody v hodnocení posturální stability a posturální kontroly u vestibulárních poruch .....  | 78 |
| 4.4   | Souhrn .....   | 81 |
| 5     | Diskuse.....   | 82 |
| 5.1   | Diskuse k otázce č. 1: Jaké jsou nejčastěji používané přístrojové měřicí postupy pro objektivní zhodnocení posturální stabilizace a rovnováhy a jak se odlišují?.....                                | 83 |
| 5.2   | Diskuse k otázce č. 2: Předkládá studie definici vybraných hodnocených posturografických parametrů a definuje, jaký ukazatel posturální stability a posturální kontroly je ve studii hodnocen? ..... | 85 |
| 6     | Závěr .....  | 88 |
|       | Seznam použité literatury.....   | 90 |
|       | Přílohy.....   | 99 |



# 1 Úvod

V současné době se odborná veřejnost velmi často zabývá problematikou posturální stabilizace, posturální stability a její kontroly, rovnováhou, balancí a metodami hodnocení těchto jevů. Ve fyzioterapii, ve specializovaných oborech medicíny, ale i v oblasti trenérství a fitness je dnes velmi populární zlepšování stability, trénink posturální stabilizace a stability, posílení stabilizačních svalových struktur, nebo hlubokého stabilizačního systému páteře. Slovo rovnováha, která úzce souvisí s těmito pojmy a je často jejich synonymem, jako by se vytratilo, či jako by již nebylo toto slovo moderní. V důsledku zvýšené míry užívání těchto termínů dochází k situacím, kdy bývají pojmy zaměňovány, terminologie se stává nejasná a vede tak k nedorozumění. Jak definovat a odlišit stabilitu, rovnováhu a posturální stabilizaci?

Proč se tyto termíny stále více užívají, je možné odvodit ze skutečnosti, že stále častěji bývá možná příčina bolestivých stavů u pacientů právě ve změně posturálně stabilizační funkce, a naopak, mnoho onemocnění s sebou nese deficit posturálně – rovnovážných funkcí (Rašev, 2005).

Motivací pro výběr tohoto tématu byl podnět od MUDr. Raševa, jež se ve své vědecké práci zabývá otázkami z oblasti posturální stabilizace a rovnováhy, a který je dlouhodobě konfrontován s problémem terminologického neporozumění si mezi odborníky v této oblasti. Dalším důvodem pro výběr tématu je vazba posturální stabilizace a změn v jejím řízení s bolestivými syndromy pohybového aparátu, se kterými se lze ve fyzioterapii stále častěji setkat. Proto, aby bylo možné řešit tyto bolestivé stavy, které jsou stále častěji aktuální u pacientů ve fyzioterapeutických praxích, je třeba rozumět pojmům rovnováha, neboli stabilita, a umět odlišit posturální stabilizaci pro určité účely.

Cílem diplomové práce, která je zpracována formou literární rešerše, je podat přehled o problematice terminologie posturální stabilizace a rovnováhy a zjistit, čím se odlišuje rovnováha a posturální řízení. Práce by měla shrnout a analyzovat domácí a zahraniční literaturu, včetně aktuálně publikovaných studií zabývajících se posturální stabilizací, stabilitou, rovnováhou, balančními schopnostmi, a hodnocením těchto modalit pomocí přístrojové techniky.

Úvodní část práce představuje současný stav bádání, nastiňuje současnou situaci v problematice a věnuje se výčtům a souhrnům definic posturální stabilizace a rovnováhy mezioborově v jednotlivých kapitolách a přibližuje tak hlediska, ze kterých jednotlivé vědní obory přistupují k této problematice. Mezi vědní obory zahrnuté do problematiky posturální stabilizace a rovnováhy člověka patří biomechanika, neurofyziologie a kineziologie. Jedna z kapitol teoretické části se věnuje též měřícím přístrojovým metodám v hodnocení stability a posturální stabilizace a z těchto podkladů pak vychází v deskriptivně - analytické části.

Úkolem deskriptivně - analytické části práce je podat přehled nejčastěji používaných přístrojových měřících metod k hodnocení posturální stability a posturální stabilizace a zjistit, zda studie předkládá definici vybraných hodnocených posturografických parametrů a zda definuje sledované ukazatele posturální kontroly.

Ačkoli je téma velmi široké, jelikož zasahuje do mnoha oborů, a orientace v používané terminologii není jednoduchá, je důležité toto mezioborové pochopení především pro možnost správné diagnostické a terapeutické intervence.

## 2 Teoretická východiska problematiky

Teoretická část je věnována definicím pojmů posturální stabilita, stabilizace a rovnováha člověka. Diplomová práce se zaměřuje na tři hlavní vědní obory, které definují rovnováhu a posturální stabilizaci člověka. Jsou jimi: 1) biomechanika, 2) neurofyziologie, 3) kineziologie.

Konfrontace rozdílných definic by měla vést k lepšímu porozumění problematiky. Podáním a vysvětlením těchto pojmů tak, jak se o nich zmiňuje literatura, by měla být základním kamenem pro deskriptivně analytickou část práce.

Teoretická část je rozdělena do několika kapitol. V prvních třech kapitolách je rozebrána problematika posturální stabilizace a rovnováhy z pohledu jednotlivých vědních disciplín. Další samostatná kapitola se zaměřuje na přístrojové měřicí metody k hodnocení posturální stabilizace a rovnováhy pro přiblížení principů a metodiky hodnocení rovnováhy, posturální stabilizace a stability. Závěr teoretické části představuje kapitola o vymezení pojmů, která shrnuje výčet definic a problematiku terminologie.

### 2.1 Posturální stabilizace a rovnováha v biomechanice

Pojmy posturální stabilizace a rovnováha ve vědním oboru biomechanika člověka budou rozebrány v této kapitole, která si klade za cíl představit srozumitelně, jasně a přehledně biomechanické zákonitosti pro porozumění problematiky.

Pojmy, které se pojí k rovnováze a posturální stabilizaci jsou mimo jiné stabilita, balance, těžiště, *center of pressure*, *center of gravity*, a další. V cizojazyčné literatuře nalezneme pojmy *equilibrium* a *balance* jako ekvivalenty pro slovo rovnováha, ale lze se setkat také s označením *posture control*, *balance* a *stability*.

Biomechanika člověka je vědní obor, který se zabývá mechanickou strukturou, mechanickým chováním živých systémů a mechanickými interakcemi s vnějším okolím (Karas et al., 1990).

Biomechanika jako věda o fyzikálních zákonitostech pohybu člověka se vyvinula ze základní touhy po porozumění lidskému pohybu. Zájem o lidský, či zvířecí pohyb lze

vysledovat již z prehistorických maleb, antických soch, či renesančních kreseb. Průlom ve sledování pohybu následoval po vynálezu kinematografu Muybridgem, který pořídil jako první záznam pohybu dostihového koně se závodníkem. Poté následovaly další vynálezy, které sledovaly různé aspekty pohybových projevů člověka. Pohybem člověka se zabývají nejvíce dva obory biomechaniky a to kinematika a dynamika. Kinematika se věnuje studiu pohybu tělesa v prostoru a čase bez ohledu na vnější příčiny a dynamika sleduje souvislosti mezi pohybem a silami, které na něj působí v prostoru a čase (Vaverka, 1994, Winter, 1979).

Definice posturální stabilizace a rovnováhy jsou odvozeny od fyzikálních zákonitostí. Na fyzikálních principech jsou postaveny i měřicí přístrojové přístupy, díky nimž lze objektivně stanovit kvantitu rovnovážných funkcí, či stabilizační schopnosti. Přístrojové vybavení se v současnosti zaměřuje spíše na zhodnocení a určení kvantity, tedy „jak moc“ člověk je, či není stabilní. Avšak i zde je již možno vysledovat hodnocení kvality a charakteru rovnováhy, jak udávají výrobci této technologie, např. v případě statické posturografie, kdy typický charakter křivky ukazuje na odpovídající diagnózu, poruchu, atd. Na rozdíl od klinického hodnocení posturální stability a rovnováhy, jehož výsledek je vždy zatížen subjektivním hodnocením testující osoby, umožňují přístrojové programy objektivní hodnocení těchto schopností (Hahn, 2004, Véle, 2006).

### **2.1.1 Rovnováha lidského těla**

Pojem rovnováha lidského těla je v biomechanických publikacích vymezen následujícími definicemi.

Rovnováha je stav, kdy algebraický součet pravoúhlých průmětů všech sil se shodným vektorem působení se rovná nule a zároveň algebraický součet momentů všech sil se stejným směrem je roven nule. Rovnováha je zajišťována působením soustavy vnitřních a vnějších sil, a proto při pohybu nedojde k jejímu porušení, ačkoli svislá těžnice působení sil neprotíná plochu opory (Vaverka, Janura, 1994).

Rovnováhou se rozumí takový stav tělesa, kdy výsledkem působení silového pole tvořeného všemi působícími silami je klidový stav tělesa – bez jakéhokoli pohybu. Ačkoli i zde se jedná o výjimku, uvažuje-li se o rovnováze z pohledu dynamiky.

Následující rovnice vyjadřují a shrnují již zmíněná tvrzení.

Rovnováha nastane, pokud jsou splněny následující podmínky:

a) součet pravoúhlých průmětů všech působících sil je roven nule.

$$\sum F_i = 0$$

b) součet momentů všech působících sil vzhledem k danému bodu je roven nule.

$$\sum M_i = 0$$

Podle změny polohy těžiště, ke které dochází při vychýlení tělesa, se rozlišují základní rovnovážné polohy:

1. **Stabilní poloha – stálá:** typická pro každé zavěšené těleso. Těžiště tělesa po vychýlení stoupá, potenciální tíhová energie se zvyšuje. Po ukončení působení sil se těleso vrací zpět do původní polohy.

2. **Labilní rovnovážná poloha – vratká:** těžiště po vychýlení klesá, vznikají momenty sil, které nadále těleso vychylují. K návratu do původní pozice je třeba vykonání práce.

3. **Indiferentní rovnovážná poloha – volná:** výška těžiště je neměnná, potenciální tíhová energie zůstává konstantní. Vertikální těžnice prochází průběhem celého pohybu kontaktním bodem těla s podložkou. U lidského těla se vyskytuje tato situace jen ve výjimečných případech.

Rovnováhu lze rozlišovat z hlediska podmínek dynamických – za pohybu, nebo statických – stav bez pohybu. Pak je z biomechanického hlediska rozlišována rovnováha statická, či dynamická (Janura, Janurová, 2007).

**Statická rovnováha** je definována jako stav, kdy se těžiště těla nachází nad opěrnou bází. Silové pole všech působících sil má za následek klidový stav, „nepohyb“, rychlost je rovna nule,  $v = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Snížením těžiště a zvětšením opěrné báze se stabilita zvětšuje. Člověk je stabilnější, tudíž i rovnováha je větší. Pro posouzení stability se využívá úhlu stability, parametru, který udává míru stability tělesa proti převržení.

**O dynamické rovnováze** se mluví za předpokladu, že svislá těžnice těžiště neprochází opěrnou bází a rovnováha je zajišťována působením soustavy vnitřních a

vnějších sil. Pro posuzování stability se v tomto případě pracuje se složkami výsledné síly v jednotlivých rovinách (Janura, Janurová, 2007).

O dynamickou rovnováhu se též jedná v případě, kdy silové pole tvořené všemi působícími silami má za následek pohyb rovnoměrný, přímočarý a rychlost je tedy konstantní.

([http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/dynamika\\_rovnovaha.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/dynamika_rovnovaha.php)).

Pojem rovnováha je více zažitý v terminologii založené na fyzikálních principech. Jako ekvivalent slova rovnováha se může rozumět pojem balance, který je definovaný níže. Společně se užívá i pojmu stabilita, která je vyjádřena mírou rovnováhy (Gryc, 2014).

V anglické literatuře se pojmem rovnováha rozumí pojem *equilibrium*. Používán je i pojem *balance*. Stejně tak je tomu i v německé literatuře a studiích (Haith, Krakauer, 2012).

### **2.1.2 Těžiště lidského těla**

Těžiště těla je bod působíště tíhové síly působící na těleso. Poloha těžiště je proměnlivá v závislosti na poloze a vzájemném postavení segmentů těla. V klidu, ve statické vertikální poloze, se nachází těžiště v oblasti malé pánve asi ve výši třetího bederního obratle. Těžiště je bod v samém centru hmoty lidského těla, a pokud se nachází ve středu oporné báze, zajišťuje tělu rovnovážnou polohu (Vaverka, 1995).

Každý pohybový segment má své dílčí těžiště. Celkové těžiště lze vypočítat právě na základě znalosti poloh dílčích těžišť. Polohy a výpočty dílčích těžišť byly definovány již Braunem a Fischerem koncem 19. století a ještě lépe upřesněny Dempsterem v polovině 20. století. Pokud se uvažuje o pozici stoje, kdy jsou paže podél těla, vyskytuje se tento bod obvykle v oblasti pánve. Jeho pozice variuje v závislosti na individuálních tělesných proporcích, věku, pohlaví. Jeho poloha se též mění podle právě prováděné tělesné aktivity, např. při chůzi, běhu, skoku do výšky. V průběhu ontogenetického vývoje se těžiště posouvá kaudálním směrem. U batolat je posunuto kraniálně vzhledem k disproporcím ve smyslu relativně velké hlavy a malého trupu s končetinami. Celkové těžiště se nemusí nutně nacházet vždy uvnitř těla, jak je patrné z obrázku 1. pod textem.

Celkové těžiště bude též měnit svou polohu při úbytku, nebo naopak příbytku na váze, s přidáním zátěže, či podpěry, nebo po amputaci končetiny.

Všechny tyto změny se budou odrážet i na rovnovážných funkcích a schopnosti stability jedince. Lidské tělo disponuje automatickými posturálními mechanismy, které vedou ke kompenzaci změn těžiště, např. automatický posun těla v opačném směru od zátěže s natažením opačné horní končetiny, která pomáhá při vyvažování (Williams a Lissner, 1962).

Význam těžiště těla spočívá v umístění tíhové síly do tohoto myšleného bodu a uplatňuje se tam, kde se zjednodušuje mechanická analýza pohybu na pohyb hmotného bodu.

Celkové těžiště souvisí se stabilitou člověka v jednotlivých pozicích a postojích. Poloha těžiště rozhoduje o stabilitě lidského těla. Jelikož se lidské tělo chová jako článkované segmentované těleso, dochází při každé změně pohybu ke změnám polohy těžiště. Následně musí systém na tuto změnu reagovat kompenzací působících sil tak, aby byla zachována stabilita ([http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/propedeutika\\_analyza.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/propedeutika_analyza.php))



Obr. 1: Těžiště mimo tělo ([http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/images/skokan\\_T\\_mimo\\_telo.gif](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/images/skokan_T_mimo_telo.gif))

### 2.1.3 COG – Center of Gravity – těžiště lidského těla

Těžiště těla je označováno jako *center of gravity* se zkratkou COG. COG je definováno jako průmět společného těžiště do roviny opěrné báze. Těžiště lidského těla COG je definováno jako bod, ve kterém působí výslednice gravitační síly. Při běžném

stoji dochází k neustálému vychylování a oscilaci COG v antero-posteriorním směru. Toto posturální vychylování je obvykle pod kontrolou automatických neuromuskulárních reakcí, proto vyvažování těžiště těla při stoji na dvou končetinách nevyžaduje volní vědomou kontrolu, nýbrž je zajišťováno nevědomě, řídicím centrálním nervovým systémem (Vařeka, 2002, Williams, 1962).

COG má význam pouze k opěrné bázi (*Base of Support = BS*), proto nemá smysl se jím zabývat např. v letové fázi běhu, jelikož zde BS neexistuje. Při statické pozici se COG musí nacházet v opěrné bázi. Pohyb COG vzhledem k opěrné bázi lze sledovat pomocí posturografických technik (Vařeka, 2002, Vele, 1997).

### **2.1.4 COP – Center of pressure**

Jedná se o působení vektoru reakční síly podložky, jak jej definoval Winter. Vařeka upozorňuje, že bod COP nelze zaměňovat za COG, ani za COM. Ale tvrzení, že COP je zcela nezávislé na COM, je zavádějící. Těsný vztah parametrů frekvence a amplitudy COM a COP byl dokonce opakovaně prokázán. Jeho polohu lze vypočítat z hodnot naměřených v rozích silové stabilometrické plošiny např. typu Kistler, nebo jako vážený průměr všech tlaků snímaných senzory přímo z opěrné plošiny. COP je shodné s COG pouze v případech dokonale tuhého tělesa a tím lidské tělo není (Vařeka, 2002, Winter, 1995).

Poloha COP není ovlivněna pouze polohou těžiště, ale také například aktivitou svalů bérce, kdy zvýšená aktivita plantárních flexorů posunuje COP dopředu, a naopak zvýšená aktivita supinátorů jej posunuje laterálně. Vždy je tato svalová činnost řízena CNS tak, aby těžnice procházela opěrnou bází a COG zůstávalo v BS (Vařeka, Vařeková, 2009).

Vztah COP a COM lze vysvětlit na následujícím grafu (viz. Obr. 2), který vychází ze skutečnosti, že posuny COP mění moment síly působící na lidské tělo a vedou ke vzniku rotačních sil na proximální segmenty těla. Posuny COP mohou být vnímány jako změny polohy COM, které následuje polohu COP do té doby, než se tělo dostane do rovnováhy, pouze pokud je projekce COM na opěrné ploše a pozice COP je s ním shodná. Je jednodušší měřit chování COP, než COM. Většina studií používá charakteristiku trajektorie COP k popisu a kvantifikaci posturálních výchylek. COP ukazuje důkladněji posuny a změny v jeho lokalizaci než COM kvůli delší setrvačnosti lidského těla, což



neumožňuje pozice COM, které rychle střídá polohu a snaží se dohnat spontánně se měnící pozice COP (Hadders – Algra et al., 2008).

Zmíněný vztah mezi posuny COP a COM ukazuje graf výchylek COP a COM v závislosti na čase:

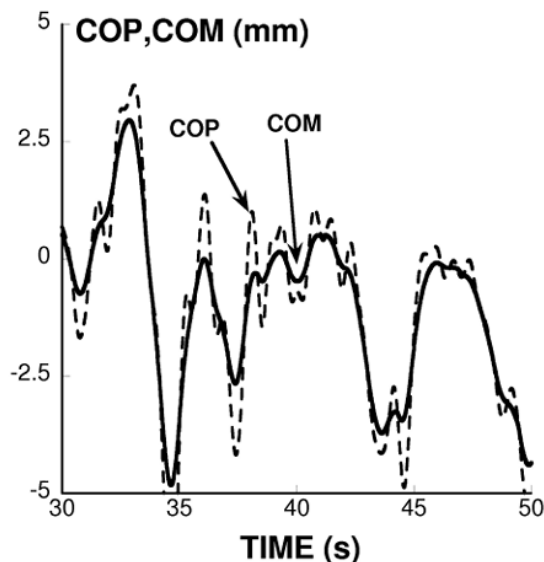


Fig. 2.1 Typical time profiles of the centre of mass (COM, solid line) and centre of pressure (COP, dashed line) location in the anterior–posterior direction in a person who stood with the eyes closed. Note the larger deviations of the COP.

Obr. 2: Graf průběhu posunů COP a COM v čase (Hadders-Algra et al., 2008)

### 2.1.5 COM - Center of body mass

Starší biomechanické publikace pojednávají o *Center of Gravity* jako o celkovém těžišti těla. V literatuře se však vyskytuje i pojem *Center of Body Mass*, který představuje hmotný bod, do něhož je soustředěna hmota celého těla a jedná se tedy o průmět celkového těžiště, zatímco COG má pouze vztah k opěrné bázi. Z pohledu biomechaniky je možné těžiště stanovit pro kterýkoli segment lidského těla, i pro tělo zcela bezvládné, zatímco kineziologie uvažuje o společném těžišti pouze při zaujetí postury (Vařeka, 2009).

Vařeka podotýká, že „COM je hypotetický hmotný bod, do kterého je soustředěna veškerá hmotnost těla v globálním vztažném systému“. COM bývá zaměňováno s COG.

Pokud je však uvažováno sledování pohybu pouze v horizontální poloze, je tato záměna nevýznamná (Vařeka, 2002).

### 2.1.6 Balance

Jako balance je rozumně stav, kdy soubor statických a dynamických strategií vede k zajištění posturální stability. Jedná se o neustálé přizpůsobování svalové aktivity a polohy kloubů funkčním požadavkům k udržení polohy těla nad opěrnou bází (Janura, Janurová, 2007).

Balanci je někdy rozumně pojem rovnováha. Stejně tak v anglické literatuře odpovídá *balance* pojmu rovnováha - *equilibrium* (Gryc, 2014).

### 2.1.7 Stabilita

Stabilita je stav vyjádřený mírou a formou rovnováhy. Z biomechanického hlediska se jedná o proces, tedy o stabilizaci dané struktury. Pro úroveň stability lidského těla má význam velikost a charakter opěrné plochy a kontakt s podložkou. Plocha kontaktu s podložkou je u tuhých těles neměnná, zatímco u lidského těla dochází ke změnám, které jsou podmíněné polohou jednotlivých segmentů. Pro tyto případy se rozlišuje pojem **opěrná báze** a **opěrná plocha**.

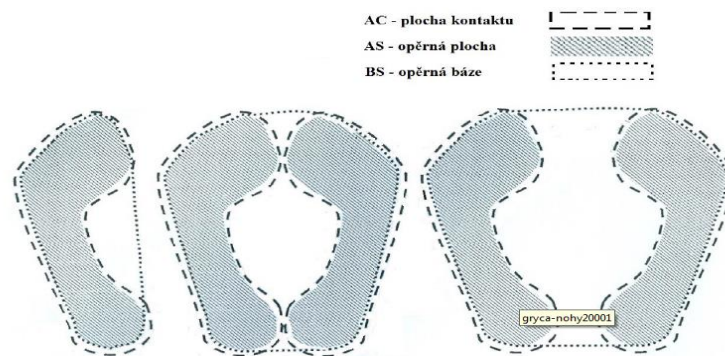
**Opěrná plocha** (*Area of Support = AS*) je definovaná jako plocha kontaktu lidského těla s podložkou. Nemusí jít vždy o kontakt přímý, protože mezi podložkou a tělem může být např. část oděvu. Pro člověka jsou touto opěrnou plochou chodidla, jejichž pozice určuje velikost opěrné báze.

K aktivní opoře a kontrole posturální stability nelze využít celou **plochu kontaktu** (*Area of Contact = AC*). Opěrná plocha je součástí plochy kontaktu, která je momentálně využita k vytvoření opěrné báze. Zatímco **opěrnou bází** se rozumí útvar vytvořený spojením krajních bodů – hran opěrné plochy (viz Obr. 3). Opěrnou bází je nutné chápat ve vztahu k opěrné ploše následovně:

- 1) opěrná báze je ohraničená nejbližšími body opěrné plochy
- 2) při stožení na 1 dolní končetinu odpovídá opěrná báze AS, nebo je mírně větší
- 3) při stožení rozkročeném se opěrná báze dále zvětšuje při nezměněné AS

4) při vzporu na rukách – klik, je rozdíl mezi opěrnou bází a AS maximální

Vařeka mezi pojmy vztahující se k opěrným bodům definuje i pojem **úložná plocha** (*Area of Load = AL*) jako plocha kontaktu plochy těla s podložkou v případě, že není vytvořený a zorganizovaný pohybový segment. AL není využita k vytvoření opěrné báze, a tudíž se lze domnívat, že neexistuje ani postura ve smyslu řízeného držení. Fyziologicky lze toto pozorovat u novorozence (Vařeka, 2002).



Obr.3: Porovnání ploch opěrné báze (Vařeka, 2002)

Stabilita těla se zvětšuje zvětšením hmotnosti, snížením těžiště, nebo zvětšením opěrné plochy. Stejně tak lze stabilitu těla i zmenšit, např. opačnými mechanismy. Tím se vysvětluje, proč je stoj na jedné dolní končetině, nebo špičkách pro udržení stability náročnější a vratký ([http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/kineziologie/propedeutika\\_analyza.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/kineziologie/propedeutika_analyza.php))

Williams a Lissner ve své knize *Biomechanics of Human Motion* dokládají vztah stability a opěrné báze následujícím příkladem: „Pokud se bude uvažovat o tělese, například knize, pak v případě, že se její těžiště ocitne za okrajem stolu, kniha přepadne, a to i v případě, že větší část hmoty se stále nachází na podložce“. Toto demonstruje význam opěrné báze na stabilitu a schopnost být stabilní. Pokud se zvětší opěrná báze, zvětší se i stabilita.

Lidské tělo je ve vzpřímeném stoji nejméně stabilní při poloze chodidel uložených paralelně vedle sebe a stoji spatném – chodidla těsně vedle sebe. A naopak, pokud se chodidla oddálí od sebe do širokého stoje, dojde ke zvýšení stability. Stabilitu lze zvětšit

snížením těžiště. Stabilita záleží na vztahu celkového těžiště těla a velikosti podpěrné plochy (Williams, Lissner, 1962).

Stabilita se určuje tzv. úhlem stability, který určuje míru stability tělesa proti převržení. Tento úhel se zvětšuje snížením těžiště, či zvětšením opěrné plochy (Karas, 1990).

V anglické literatuře lze pro stabilitu najít ekvivalentní pojem *stability*, či *postural stability* (Taube, Gollhofer, 2012).

### 2.1.8 Stoj ve vertikální poloze

Stoj ve vertikální poloze je základní pohybová atituda člověka. Je výchozím nastavením pro další motorické činnosti, jako je chůze, nebo bipedální lokomoce, jako základní motorický projev člověka. Bipedální lokomoci člověka lze nazvat jakékoliv jeho přemístění pomocí dolních končetin (Karas, 1978).

Ve stoji je lidské tělo přirovnáváno k tzv. „obrácenému kyvadlu“ – malá opěrná báze s relativně vysoko uloženým těžištěm. Proto tuto polohu je možno přiřadit k labilním rovnovážným polohám. Přesto člověk ve stoji ve vertikální poloze tráví relativně dlouhou dobu s možnostmi reaktibility na měnící se podmínky. K tomu je však nutný dobře fungující systém, kde všechny složky a podsystémy, které na sebe navazují a vzájemně se ovlivňují, dobře spolupracují (Janura, Janurová, 2007).

Ačkoli by se mohlo zdát, že stoj ve vertikální pozici je statickou polohou, není tomu tak. Žádná aktivně udržovaná poloha, kterou stoj ve vzpřímené pozici je, nemůže být označována jako statická. Vhodnější by bylo mluvit o této poloze jako o tzv. „kvazistatické“, jak navrhuje Vařeka, při níž neustále dochází ke změnám momentů sil působících na pákách jednotlivých segmentů těla, jelikož stálou kontrakční sílu svalů nelze udržet konstantní. Dochází tak k větším či menším vzájemným posunům jednotlivých segmentů, a tak i k posunu celkového těžiště. Mění se tak plocha nejen společného COM, ale také pozice COP a COG. Změny polohy COP při klidném stoji jsou odrazem neustálého vlivu řídicí činnosti CNS. K výchylkám těžiště vlivem změněné rovnováhy dochází i díky působení vnitřních vlivů, jako je vliv srdeční činnosti a dechová dynamika (Vařeka, 2002).

Pro zachování vzpřímené polohy člověka hrají roli 3 hlavní složky celého systému – senzoričká (propriocepce, zrak, vestibulární systém), řídicí (centrální nervová soustava), a výkonná (kosterně-svalová soustava).

Udržení stability ve vertikální poloze je složitý dynamický proces vyžadující spolupráci subkortikálních struktur, cerebella, přístup a zpracování aferentních senzoričkých informací a jejich správné zpracování centrálními řídicími strukturami. Významné jsou též informace z exteroceptivních kožních receptorů a interoceptivní signály z vnitřních orgánů (Janura, Janurová, 2007).

Udržení vzpřímené polohy je značně závislé na svalové činnosti. Tento proces je na základě zpětných vazeb neustále korigován. Hlavním mechanismem zajištění posturální stability ve vzpřímeném stoji je tzv. „hlezenní mechanismus“ uplatňující se v antero-posteriorním směru, a „kyčelní mechanismus“ ve směru latero-laterálním. Tyto mechanismy patří mezi základní strategie v udržení posturální stability (Winter, 1995).

Hodnocení vzpřímené polohy je možné dle posouzení tvarů a polohy jednotlivých segmentů různými optickými metodami, nebo sledování jejich korekční aktivity, např. stabilometrie (<http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/pohyb.php>).

## 2.1.9 Souhrn pojmů

Porozuměním těchto východisek lze významně přispět k porozumění terminologie posturální stability postury, rovnováhy a posturální kontroly. Jak upozorňuje Vařeka, často je terminologický rozpor způsoben přehlížením biomechanických zákonitostí (Vařeka, 2002).

V biomechanické terminologii se lze setkat s následujícími definicemi pojmů a jejich rozlišením:

**Balance** = stav vyvažování, či ekvivalent k pojmu rovnováha, kdy soubor mechanismů zajišťující posturální stabilitu využívá neustálé korekce a měnící se svalové aktivity k udržení stabilní polohy. Anglicky *balance*, *dynamic balance*.

**COM** = hmotný bod, do kterého je soustředěna hmota celého těla. Jedná se tedy o průmět celkového těžiště. Nelze zaměňovat s COG.

**COP** = bod působení vektoru reakční síly na podložku.

**COG** = průmět společného těžiště do roviny opěrné báze.

**Opěrná báze** = útvar vytvořený spojením krajních bodů – hran opěrné plochy

**Opěrná plocha** = plocha kontaktu lidského těla s podložkou.

**Plocha kontaktu** = její součástí je opěrná plocha.

**Rovnováha** = stav, kdy působení všech vnějších a vnitřních sil je rovno nule; angl. *equilibrium*.

- **R. statická** = stav, kdy se těžiště těla nachází nad opěrnou bází. Výsledek působících sil je roven nule.

- **R. dynamická** = svislá těžnice těžiště neprochází opěrnou bází a rovnováha je zajišťována působením soustavy vnitřních a vnějších sil, nebo silové pole tvořené všemi působícími silami má za následek pohyb rovnoměrný, přímočarý, rychlost konstantní.

**Stabilita** = stav vyjádřený mírou rovnováhy. Čím větší rovnováha, tím lepší stabilita a opačně. Lidské tělo je stabilní, pokud odolá působení zevních a vnitřních sil, nedojde k vychýlení z rovnovážné polohy a je zabráněno pádu. Anglicky *stability*, opak *instability*.

- **S. dynamická** = podmínky stability jsou určovány, za pohybu a v případě, že těžnice těžiště neprochází opěrnou bází.

- **S. statická** = zajištění stability za statických podmínek, „nepohybu“, rychlost je nula.

- **S. posturální** – schopnost zajistit vertikální polohu tak, aby nedošlo k pádu.

**Těžiště** = myšlený bod jako působiště tíhové, nebo li gravitační síly. Jeho poloha rozhoduje o stabilitě lidského těla.

**Úložná plocha** = plocha kontaktu plochy těla s podložkou v případě, že není vytvořený a zorganizovaný pohybový segment.

## **2.2 Neurofyziologické procesy v řízení posturální kontroly, stabilizace a rovnováhy**

Pochopení neurofyziologie systémů, které se podílejí na utváření lidské stabilizace, je nezbytné pro schopnost rozlišení jednotlivých vstupních informací, které umožňují řízení rovnováhy a jeho anticipaci.

Do kontroly posturálního řízení a výsledného posturálního nastavení zasahuje mnoho vlivů. Mezi mechanismy řídící posturálně-rovnovážné funkce řadíme:

1) senzorické informace – vizuální, vestibulární, propioceptivní, informace povrchového čítí – exterocepce, dále interoceptivní informace včetně viscercepce

2) centrální nervový systém se svými sestupnými a vzestupnými drahami a jeho regulační funkce, a schopnost adekvátní odpovědi a nastavení efektorového muskuloskeletálního systému, tj. adekvátní nastavení svalového tonu (Goebel et al., 2000).

Porucha na všech těchto úrovních se projeví ve schopnosti posturálního nastavení a posturální reaktivity, avšak při dobrém řízení posturálních funkcí se tato porucha nemusí projevit tak rychle. Důležitou složkou jsou anticipační mechanismy (zpětná a dopředná vazba) účastníci se na modulaci signálů a řízení posturálně – rovnovážných funkcí (Hahn, 2004, Aruin, 2003).

### **2.2.1 Řízení rovnováhy vzpřímeného stoje**

Mezi hlavní struktury zasahující do kontroly vzpřímeného stoje patří především mozeček, bazální ganglia a mozková kůra obou hemisfér koncového mozku. Úloha mozečku v ovlivňování rovnováhy je velmi významná. To lze demonstrovat u pacientů s mozečkovou patologií, kteří mají velký problém v udržení rovnováhy (Horak, 2006).

Znalosti o vlivu bazálních ganglií na posturu a posturální řízení jsou založeny na pozorování a výzkumu osob s Parkinsonovou nemocí, kdy právě porucha na úrovni bazálních ganglií je příčinou zhoršené posturální kontroly a tedy i horší stability. Osoby s Parkinsonovou nemocí, mezi jejíž projevy patří rigidita, bradykineze, „freezing“, intenční tremor a posturální instabilita, mají potíže s vytvářením vzorů ve změnách posturální kontroly a potřebě uzpůsobovat toto posturální nastavení. A stejně tak lze

dokázat vliv kortikálních drah a řízení na stabilitu a rovnováhu, kdy při supratentoriálním iktu dochází taktéž k posturálním dysfunkcím (van den Heuvel et al., 2013, Hadders-Algra et al., 2008).

Do centrálního nervového systému vstupují informace z periferních receptorů a sensorického systému, které jsou zpracovány a výsledná informace je sestupnými drahami poslána k výkonným systémům. Předpokladem pro řízení rovnováhy, jakož i pro řízení všech složitých procesů, je přenos z řídicího orgánu na orgán řízený. Nezbytná je souhra agonistů a antagonistů a také princip kontroly a zpětné vazby (Ambler, 2011).

Specifitou člověka je vzpřímený stoj. To člověku dalo možnost používat horní končetiny k dalším činnostem. Vzpřímený stoj člověka představuje složitou pohybovou funkci. Na udržování vzpřímeného stoje se podílí velký počet hierarchicky uspořádaných mechanismů, které fungují na principu zpětnovazebných regulačních obvodů. Úkolem těchto mechanismů je prostřednictvím změn v rozložení svalového tonu nepřetržitě směřovat těžišnici těla do opěrné plochy vymezené chodidly a zároveň udržovat tento směr shodný se směrem vektoru zemské tíže. Králíček podotýká, že však dosud nebyla prokázána existence specifického sensorického systému, který by informoval centra posturálního řízení o výchylkách trupu, či hlavy od směru vektoru gravitační síly. Samotný směr gravitační síly detekuje vestibulární aparát umístěný v kostěné části hlavy. Řídicí systémy přijímají informace od všech sensorických soustav, přičemž nejvíce ze zrakové, vestibulární a propioceptivní. Udržení stabilní polohy ve stoje se zdá být nelehkým úkolem. Na zaujetí a udržení vzpřímené polohy se dle Králíčka podílí tzv. „postojové reflexy“. Jedná se o reflexní děje zajišťující vzpřímenou polohu. V následujícím popisu těchto reflexů je zřejmé, proč jsou některé systémy těla pro udržení stabilní vzpřímené polohy tak zásadní.

Mezi postojové reflexy patří následující tři druhy reakcí:

1. Lokální statické reakce – fyziologický význam spočívá ve zpevnování kloubů končetin tak, aby unesly tíhu těla při vztyku, klidovém stoji, nebo při chůzi. Dochází k dráždění „lokálních“ receptorů, taktilních čidel a propioceptorů, které působí na svalstvo téže dolní končetiny jako účinný podnět. Dráždění taktilních receptorů a propioceptorů plosky nohy vyvolá reflexní odpověď v mm. interrosei při opření nohy o podložku tím, že dojde ke zvýšení tonu svalstva na odpovídající dolní končetině tak, že tato se stává pevnou oporou pro celé tělo.



2. Segmentální statické reakce - řídí součinnost svalstva více končetin. Hlavní význam mají informace z proprioceptorů. Je zde uplatněn především vliv pohybu jedné končetiny na napětí svalstva kontralaterální končetiny, např. zkřížený extenzorový reflex, kdy flexe jedné končetiny, vzniklá algickou stimulací, vyvolá extenzi druhé končetiny.

Řízení těchto dvou reflexních reakcí odpovídá spinální míšní úrovni řízení.

3. Celkové statické reakce – jsou nadřazeny předchozím reakcím. Jejich úlohou je koordinace svalového tonu všech končetin i svalstva trupu. Do těchto reakcí se řadí tonické šijové reflexy, tonické labyrintové reflexy a fázické labyrintové reflexy (Kralíček, 2011).

Malý mozek plní mnoho důležitých funkcí při kontrole vzpřímené pozice, normálního tonu svalů, skeletu a udržování tělesné rovnováhy. Přeměňuje inervační aktivitu pohybů a jejich průběh, kontroluje a optimalizuje opěrnou motoriku, „přepočítává“ pomocí kybernetických spojů společný účinek opěrné a cílené motoriky a slouží také k jemnému nastavení rychlé cílené motoriky (Hahn, 2004).

Ústrojím pro nastavování posturální motoriky ve statické poloze držení těla, tedy i vzpřímeného stoje, je dle Véleho *formatio reticularis* a sekundárním řídicím ústrojím jsou pak subkortikální řídicí centra, která navíc zajišťují stabilizaci volního pohybu (Véle, 2006).

## **2.2.2 Senzorický systém**

Senzorické informace hrají významnou roli v udržování a nastavování postury. Tyto informace byly a jsou velmi důkladně studovány. Mezi senzorické informace řadíme vizuální, vestibulární, proprioceptivní, interoceptivní a exteroceptivní informace. V této souvislosti hovoří také o významné roli kožních informací z plosky chodidla a z prstů nohy (Hadders-Algra et al., 2008).

### **2.2.2.1 Vestibulární aparát**

Vestibulární aparát jakožto rovnovážné ústrojí u člověka je orgán plnící jedny z nejdůležitějších funkcí pro řízení rovnováhy:

1) zprostředkovává informace o změnách směru gravitace do těch částí centrálního nervového systému, které odpovídají za regulaci napětí svalů pro udržení vzpřímeného držení těla. Dále poskytuje centrálnímu nervovému systému informace o lineárních, či úhlových prostorových změnách pohybu hlavy.

2) podílí se na nastavení spojnice očí do horizontální rovin během pohybu hlavy a fixaci pozorovaného okolí zrakem pokud je okolí v pohybu, nebo pokud se pohybuje sám pozorovatel. To umožňuje lepší fixaci obrazu pozorovaného předmětu na sítnici.

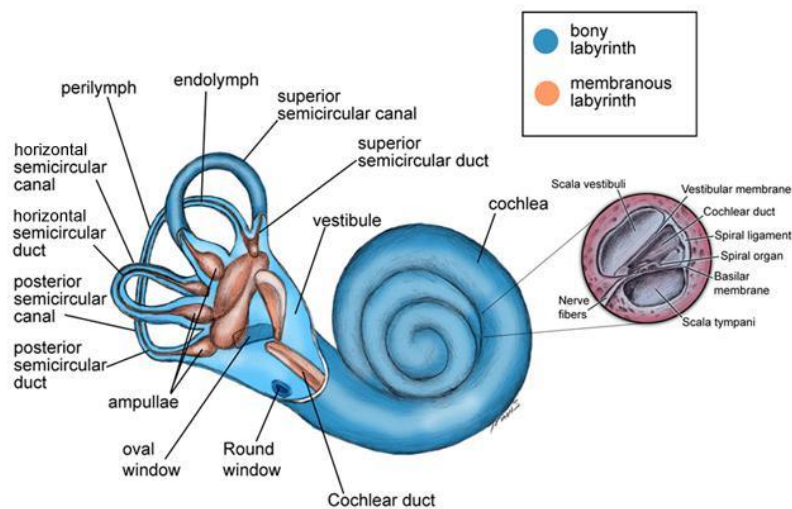
Vestibulární aferentace prostupuje do všech částí mozku – do velkého a malého mozku a také do mozkového kmene. Vestibulární jádra se nacházejí na spodině IV. mozkové komory. Pro činnost vestibulárního systému jsou zásadní informace přicházející z vlastního vestibulárního aparátu, dále vzruchy z propioceptivního a vizuálního systému. Od těchto struktur odstupují vzestupné a sestupné dráhy podílející se na řízení rovnováhy v dalších anatomických strukturách. Tuto část vestibulárního systému lze nazvat také jako centrální vestibulární systém. S tímto pojmem se lze setkat v zahraniční literatuře (McCaslin et al., 2013).

Periferní vestibulární systém představuje membránový labyrint a kostěný labyrint s polokruhovitými kanálky, kolem kterých proudí perilymfa. Zde jsou lokalizované vestibulární receptory. V oblasti vestibulu a polokruhovitých kanálků se nachází pět vlastních čivných „orgánů“, které dohromady tvoří vestibulární aparát. Jsou jimi: 3 polokruhovité kanálky s kristami – zadní, přední a horizontální, 2 otolitové orgány – sakulus a utrikulus se statickými makulami, kterými protéká endolymfa. Otolitové orgány slouží jako akcelerometr, který má své senzory známé jako *maculae*. Vlásokové buňky nacházející se v makulách a kristách mají také svou specifickou funkci a podle toho reagují na lineární, nebo úhlové zrychlení. Schéma kostěného a blanitého labyrintu a polokruhovitých kanálků vestibulárního ústrojí je zobrazeno na obrázku 4 – viz. níže (Hahn, 2004, McCaslin 2013).

Vestibulární aparát je propojen se zrakovým orgánem a dráhou okulovestibulárního (nystagmického) reflexu. Vestibulární aparát a okulomotorický systém spolupracují na udržení optické fixace sledovaného objektu při současné změně pozice hlavy. Díky tomu je člověk schopen sledovat okolní prostředí, aniž by při běžných výchylkách, či změnách poloh pozorovaného objektu došlo k problémům udržení rovnováhy a posturální stability (Hahn, 2004).

Porucha na úrovni oko-hybného aparátu a vízu může mít za následek poruchu rovnováhy a balančních schopností, jelikož chybné informace vstupují do vestibulárního aparátu, a tak generují v centrálním nervovém systému chybné signály. Funkce oko-hybného systému a vestibulárního aparátu jsou nezbytné pro správné řízení v oblasti rovnováhy a posturální stabilizace (McCaslin et al., 2013).

V poslední době byla role vestibulárního aparátu často přezkoumávána. Především byly formulovány hypotézy, které předpokládají, že vestibulární signály pro vytvoření obrazu postury se relativně pomalu mění, a tím podávají zpožděné informace o nastavení postury pro odhad signálů ostatních modalit, které mohou vygenerovat tuto změnu daleko rychleji. Tato hypotéza je relativně silně podpořena pozorováním silných posturálních iluzí, které jsou vytvořené na základě velmi pomalého pohybu hlavy vzhledem k trupu. To může být demonstrováno na příkladu pocitů pomalých oscilačních pohybů, které pociťuje jedinec na pevnině po dni stráveném na lodi (Hadders-Algra et al., 2008).



Obr.4: Zobrazení vestibulárního aparátu – polokruhové kanálky a blanitý labyrint  
(<http://emedicine.medscape.com/article/883956-overview>)

Závěrem je třeba podotknout, že současná moderní věda a medicína zatím neobjasnila a přesně nedefinovala stavbu a funkci rovnovážných struktur, protože celý systém nervových a gliových buněk a jejich spojů je velmi komplikovaný (Hahn, 2004).

Úloha vestibulárního aparátu pro posturální řízení běžných denních situací je často přeceňována. Jak již poznamenává ve své publikaci Hadders-Algra, totiž, že

reaktibilita vestibulárního aparátu a rychlost vestibulární aferentace může být zpožděná. Tato hypotéza je podpořena pozorováním silných posturálních iluzí, které jsou vytvořené na základě velmi pomalého pohybu hlavy vzhledem k trupu, např. pocity pomalých oscilačních pohybů, které pociťuje jedinec na pevnině po dni stráveném na lodi. Navíc hodnocení vestibulárního aparátu je prováděno v krajních testovacích polohách, nepř. rychlé prudké změny poloh, rychlé otáčení, sklápění, a ty jsou dosti odlišné od situací běžného dne. Proto pozitivní nález při hodnocení ještě nemusí nutně vypovídat o patologii (Hadders-Algra et al., 2008).

#### **2.2.2.2 Propriocepce**

Proprioceptory ve svalech dolních končetin, šlachách, a kloubech informují centrální nervový systém o jejich konfiguraci a poloze vzhledem k trupu. Zejména sensorická zakončení ve svalových vřetýnkách se považují za hlavní zdroj informací o poloze a konfiguraci těla.

Pokud je stojící osobě se zavřenými očima aplikována vibrační stimulace na oblast achillovy šlachy, lze pozorovat výchylku stoje dozadu. Tento vliv je tak silný, že vede až ke ztrátě stability a k vykročení za účelem udržení vertikální pozice. Vibrace aplikované na šlachu musculus tibialis anterior vedly k výchylce těla na opačnou stranu – dopředu. Vibračně evokované pády byly vysvětleny jako regulační mechanismus centrálního nervového systému, který si chybně interpretoval měnící se aktivitu v sensorických zakončeních svalových vřetének jako znamení měnící se délky svalu.

Tento jev vlivu vibrací na posturu a posturální stabilitu ukazuje na důležitost signálů z proprioceptorů pro balanční schopnost (Hadders-Algra et al., 2008).

#### **2.2.2.3 Vizualní podněty**

Vizualní informace jsou jedním z nejdůležitějších zdrojů informací pro řízení posturálního nastavení (posturální kontroly). Člověk je schopný právě pomocí zrakových vjemů kompenzovat ztrátu informací z ostatních sensorických vstupů, tak, aby nedošlo k významnému deficitu v řízení rovnováhy. Některé studie toto dokazují na rozdílnosti výsledků při hodnocení posturální stability při zavřených a otevřených očích. Výzkumy a experimenty ukazují na silný vliv zrakových vjemů. Jako příklad lze uvést následující

situaci: „Pokud se zrakové pole přibližuje k objektu, je to doprovázené zakymácením se dozadu- přenesením těžiště těla dozadu“. Iluze o pohybu celého těla založené na změnách ve zrakovém obraze jsou velmi časté. Příkladem takové iluze je například situace, kdy člověk sedící ve vlaku čekajícím ve stanici pozoruje vlakovou soupravu stojící na vedlejší paralelní koleji, která je uvedena do pohybu, a dotyčný má reálný pocit o tom, že se rozjíždí vlak, v němž sedí (Hadders-Algra et al., 2008).

#### **2.2.2.4 Kožní receptory chodidla a posturální nastavení**

Lehký dotyk bříšek prstů na noze o podložku, který se na mechanickém podkladě děje silou menší než 1 Newton a neplní tedy zásadní opěrnou funkci, dokáže zmírnit posturální vychýlení během klidného stoje. Posturální výchyly nejsou korigovány velkým silovým působením (Hadders-Algra et al., 2008).

Ukazováček na noze s velkou hustotou kožních receptorů hraje velkou roli při detekci změn tlaku a směru, což přispívá k redukci posturálních výchytek. Tato významná role při zachování a udržování posturální stability je nesporná, ačkoli další studie ukázaly stejný efekt při dotyku a kožním podráždění jiných částí těla, např. kůže na krku a hlavě (Jeka et al., 1994).

Tento efekt je dokonce pozorován u slepých jedinců a u osob s poruchou vestibulárního aparátu, u kterých je citlivost na změnu tlaku a následné regulace posturální výchytky v porovnání s vestibulárním řízením daleko citlivější (Lackner, Dizzio, 2005).

Během klidného stoje dochází ke zpětnovazebným kontrolám, regulacím posturálních výchytek a jejich analýze takřka neustále. Pokud se jedinec snaží stát klidně, dochází k nevyhnutelným spontánním změnám nastavení v jednotlivých mechanických dějích charakteristických pro vertikální stoj, jako je neustálá lokalizace COM (center of mass), inklinace trupu (Hadders-Algra et al., 2008).

#### **2.2.2.5 Anticipační mechanismy v posturálním řízení**

Jako anticipační posturální řízení lze nazvat soubor mechanismů zajišťující stabilitu přirozeně nestabilní bipedální postuře od mechanických rozrušujících vlivů. Jako příklad lze uvést následující situaci: když stojící osoba udělá velmi rychlý pohyb

v ramenním kloubu, první známky projevu pohybu nejsou ve svalech primárně vykonávajících plánovaný pohyb, nýbrž v posturálních svalech dolních končetin a trupu. Tyto mechanismy zapříčiňují posun ve velikosti a lokalizaci výslednic sil působících na lidské tělo z opěrné plochy a stejně tak zajišťují změny v konfiguraci tělesného nastavení, ačkoli kloubní rozsahy během anticipačního řízení jsou velice malé, v řádech jednoho stupně (Massion, 1992).

Anticipační mechanismy se uplatňují při určitém záměru pohybu a nastavení jeho vlastností, i když je mechanicky pohyb stejný – např. rozdíl udeřit, nebo pohladit. Od začátku je pohyb zaměřován jinak (Véle, 2006).

Někdy anticipační mechanismy upřednostní nastavení výkonových skupin svalů před stabilizačními skupinami svalů, např. k realizaci kroku. Toto však zůstává otázkou, protože anticipační mechanismy jsou dlouhotrvající a mohou odrážet *feed forward* a *feed back* efekty na změnách aktivity posturálních svalů.

Anticipační mechanismy jsou charakteristické jejich variabilitou v ústřední akci, v reakci na rušivé vlivy a posturální úlohy. Mezi běžné úlohy, které byly ve studiích zkoumané, patří rychlý pohyb paží, manipulace s břemenem, anebo nárůst svalové síly při fixaci objektu jako je úchop. Velikost anticipačních mechanismů roste s velikostí obtížnosti předpokládané výchylky a v závislosti na intenzitě úchopu. Funkce anticipačních mechanismů spočívá v produkci sil a jejich momentů proti očekávaným posturálním výchylkám. Ve studiích vedených Latashem bylo zjištěno, že účinek, či velikost anticipačních mechanismů je neurálním řízením nastavována ne podle očekávaných mechanických efektů - jak velké nebo těžké je potenciální břemeno, ale podle toho, jaký dopad na výchylku těžiště těla bude mít, podle toho, co se s břemenem bude dále odehrávat, zda je manipulováno s cementem, nebo s dítětem, atd. Anticipační strategie je předem určená tím, co se dále s břemenem učiní, např. odložení, odhození, aj. Anticipační mechanismy závisí na informacích ze sensorického systému. Pokusy dokazují, že jsou situace, při kterých anticipační mechanismy nejsou potřebné, např. velmi stabilní stoj, lehký dotek, a naopak situace, kdy je potřebná dodatečná posturální stabilizace, např. při uchopování držadla, předmětu, atd.

Toto je důkazem představy, že anticipační mechanismy se neřídí pouze mechanickými aspekty provedení daného úkolu, ale také sensorickými informacemi,

kteřé mohou ovlivnit vnitřní odhady aktuálního posturálního nastavení v interakci s očekávanými výchyly.

V souvislosti s anticipačními mechanismy se hovoří o dvou hlavních skupinách vykonávajících posturální pohybové vzory. Do prvního vzoru patří posturální svaly dolních končetin přesahující hlavní klouby dolní končetiny. Jako druhý vzor, který se zdá být z dlouhodobého hlediska více efektivní, je myšleno zapojení proximálních svalů mezi skupinami hlubokých svalů trupu do anticipačních mechanismů v posturálním řízení. Mezi tyto svaly patří hlavně dlouhé extenzory páteře, abdominální svaly, svaly pánevního dna (Hadders-Algra et al., 2008).

## **2.3 Posturální stabilizace a rovnováha z pohledu kineziologie a funkční anatomie**

Problematika postury, posturální stability a stabilizace je již dlouhodobě v zájmu odborníků z oblasti kineziologie, která pohlíží na anatomické struktury z funkčního hlediska a snaží se přiblížit pochopení anatomických struktur v jejich funkci. Kineziologie vychází z neurofyziologických poznatků o posturálním řízení a řízení centrálního nervového systému, z biomechanických principů a ze znalostí funkční anatomie. Kineziologie zohledňuje kvalitu řízení posturálních funkcí ve vazbě na kvalitu koordinace všech složek pohybového aparátu, včetně svalové aktivity a funkční svalové koordinace (Véle, 2006, Vařeková, J. 2001).

Kineziologie jako vědní obor byl definován v pojetí, v jakém je studován v České republice až v devadesátých letech 20. století. Kineziologie představuje interdisciplinární přístup v pohledu na lidský pohyb a jeho problematiku. Klinická kineziologie je přednášena fyzioterapeutům v rámci jejich uceleného vzdělávání.

Ve světě se tento pojem používá ve více významech, např. aplikovaná kineziologie, kineziologie dotyku jako alternativní směr pro diagnostiku a hledání odpovědí na zdravotní obtíže pomocí svalového napětí. (<http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/uvod.php>).

### 2.3.1 Posturální systém

Posturálním systémem lze nazvat všechny mechanismy zasahující do řízení a regulace postury, posturální kontroly, rovnováhy a posturální stabilizace. Skládá se z několika dílčích systémů, podsystémů a funkčních jednotek, které se podílí na řízení a udržování posturální stability a vzpřímené pozice těla. Jelikož do jeho řízení a regulace zasahuje mnoho systémů a faktorů, lze o posturálním systému hovořit jako o vysoce specializovaném mechanismu. To potvrzuje i několik set vědeckých prací, které se tímto tématem již od druhé poloviny 20. století věnují (Toupet et al., 1994).

### 2.3.2 Postura a její kontrola

V minulém století byla postupně nahrazována teorie o tom, že postura je primárně výsledkem reflexů a svalového tonu, přístupy mluvící o posturální kontrole jako o aktivním procesu, na kterém se účastní vlastně celý nervový systém (Dietz, 1992, Massion et al. 2004).

Postura je základem a předpokladem každého pohybu a zajišťuje jeho koordinaci a průběh. V publikaci „*Postural control: A Key Issue in Development disorders*“ je postura definována jako vzájemná pozice segmentů těla se vztahem k okolnímu prostředí (Hadders-Algra et al., 2008).

Dle Čumpelíka lze postuře rozumět jako výhodné konfiguraci jednotlivých segmentů osového orgánu (Čumpelík, 2001).

Kolář popisuje posturu jako schopnost aktivního držení těla, do něhož se promítá svalová akce a souhra, či nesouhra svalové aktivity (svalová rovnováha/nerovnováha). Dále se zde uplatňují děje řídicí z centrální nervové soustavy, nezanedbatelná je role psychiky – emocí, vlastnosti vaziva a anatomické poměry. Pro definici postury je dle Koláře nutné vycházet z biomechanických a neurofyziologických funkcí. „*Pod biomechanickou funkcí rozumíme charakter zatížení a pod neurofyziologickou funkcí řídicí procesy svalů, které umožňují zapojení stabilizační (posturální) funkce svalů i během pohybu tak, aby toto zatížení bylo pro kloubní systém optimální*“ (<http://www.dns-cz.com/diagnostika-poruch-dle-dns>). Kolář také uvádí, že „*při hodnocení posturálních funkcí, resp. při určování stupně závažnosti posturální poruchy, její dysfunkce, je hlavním problémem neexistence norem pro toto hodnocení způsobená rozdílným pohledem*



*jednotlivých autorů, kteří se pokusili normy definovat.*“ To jest jiný pohled na posturu dle různých autorů. Již zde, ve stanovení termínu a definice „postury“ se autoři rozcházejí (Kolář, 2009).

Vařeka dochází ke stejnému závěru, kdy se o postuře zmiňuje jako o aktivním držení segmentů těla proti působení zevních sil, především síly tíhové. Zajištění postury vysvětluje souhrou vnitřních sil, které vznikají svalovou aktivitou řízenou CNS. Z pohledu této definice postury je zřejmé, že Vařeka vychází z biomechanických principů, ale jak dále podotýká, nejedná se o synonymum pro stoj na dvou dolních končetinách. Vařeka též upozorňuje na názorovou nejednotnost ve významu postury a jejího vlivu na pohyb (Vařeka, 2009).

Véle rozděluje posturální funkce a posturu z hlediska zaujetí dané polohy z vývojového hlediska z poloh horizontálních až do vertikály. Posturu hodnotí i v pozici vleže, kde je posturální systém nejméně aktivní. Dále popisuje posturu vsedě a ve vzpřímeném stoji. Vsedě je úkolem posturálního systému taktéž zajišťování stability. Poukazuje na podmínku posturálních funkcí vsedě, kdy by měly tyto funkce vykazovat dynamické mikropohyby tak, aby nebyly přetěžovány posturální svaly strnulou polohou při nevýhodné dlouhotrvající izometrické kontrakci. Ve stoji ve vzpřímené poloze se účastní posturální funkce nejen svaly osového aparátu a páteře, ale i svaly dolních končetin (Véle, 1997).

Dále Véle posturu popisuje jako rovnovážný stav, který předjímá další pohybové chování a jehož obsahem je a) „neorientovaná postura“ – rovnovážný klidový stav bez úmyslu pohybu, b) „stand by režim“ – stav zvýšené připravenosti pro zajištění pohybu (nastavení svalového tonu), c) „atituda“ – orientovaná postura, která je výchozím nastavením pro pohyb (Véle, 2006).

Vařeka podotýká, že význam pojmu postura má vztah především k vertikální pozici lidského těla. Kolář však oproti Vařekovo tvrzení namítá: *„Jednotliví autoři v souvislosti s posturou omezují svůj pohled pouze na rovnovážné (balanční) funkce, jini pouze na vyšetření stoje nebo sedu atp. Pojem postura je však mnohem širší. Posturu chápeme jako aktivní držení pohybových segmentů těla proti působení zevních sil, ze kterých má v běžném životě největší význam síla tíhová. Postura však není synonymem vzpřímeného stoje na dvou končetinách nebo sedu, jak je nejčastěji prezentováno, ale je součástí jakékoliv polohy (třeba vzpřímené držení hlavy v poloze na břicho u kojence nebo*

*zvednutí dolních končetin proti gravitaci v poloze na zádech*)“ (Kolář, 2009, Vařeka, 2002).

### 2.3.2.1 Posturální kontrola

Posturální kontrola svědčí o udržování pozic částí těla se vztahem jak k němu samotnému, tak k okolnímu prostředí a vnějším podnětům. Jako příklad projevu dobré posturální kontroly jsou uvedeny následující příklady: krasobruslař vytvářející krásné kreace paží, zatímco bruslí přes ledovou plochu, číšník jdoucí skrz restauraci s naloženým podnosem, nebo osoba držící v jedné ruce hřebík, zatímco druhou jej zatluoká kladivem.

Podle Taubeho a Gollhofera může být posturální kontrola definována jako schopnost orientace částí lidského těla vůči sobě a vůči okolnímu prostředí bez ztráty rovnováhy, *equilibria*. To znamená také nastavení odpovídající svalové aktivity, aby posturální systém mohl vzdorovat gravitační síle. Posturální kontrola (anglicky *postural control*) není zdaleka jen o kontrole nebo předcházení ztráty balance, ale navíc poskytuje stěžejní podporu a základ pro provádění ostatních pohybů (Taube a Gollhofer, 2012).

Na posturální kontrolu má vliv kromě již zmíněných mechanismů též stárnutí. Tento poznatek byl prokázán v několika studiích. Fakta, která na tento jev poukazují, jsou neodmyslitelně spjata s fenoménem stárnutí, které se projevuje svalovou slabostí a zhoršenou svalovou koordinací, snížení kondice, neuromuskulární degenerací, zhoršení vizuálních a jiných smyslových vjemů, snížení citlivosti kožních receptorů, exteroceptorů a propioceptivních mechanismů, snížená schopnost disociace cití, apod. Systém se stává méně efektivním, což má za následek mimo jiné pomalejší reaktibilitu a zhoršení posturálně-stabilizačních funkcí. Následkem jsou především pády a strach z nich, což vede ke snížení mobility, a tedy dalšího nárůstu deficitu a progresu zhoršení funkce.

V současnosti se považuje vliv vestibulárního aparátu na rovnovážné funkce za klíčový, to vede k závěrům, že především poruchy v oblasti vestibulárního aparátu ovlivňují posturální kontrolu. Ve studii vedené Toupetem využili k zhodnocení a ověření vztahů posturální kontroly, stárnutí a vestibulárního systému statické posturografie, kdy hodnotili aktuální situaci pacienta ve stoji (Toupet et al., 1994).

S posturální kontrolou se pojí mechanismy *feed back* a *feed forward*.

**Feed back kontrola** pohybu je zajištěna ze všech propioceptivních informací ze svalových, šlachových, nebo kloubních receptorů, díky kterým dostává řídicí systém informace o průběžném stavu pohybového segmentu. *Feed back* kontrola pohybu rozšiřuje *feed forward* kontrolu, což zajišťuje kompenzaci rušivých vlivů a zabezpečuje tak volné provedení zamýšleného pohybu, který se přibližuje předem plánované trajektorii pohybu.

**Feed forward** kontrola pohybu je rozuměna jako proces, ve kterém jsou produkovány předdefinované sekvence povelů v době, kdy je člověk vystaven určitému působení, např. hluku, světelnému oslnění, výchytkám způsobeným vnějšími silami. Véle též označuje *feed forward* jako „přednastavenou dráždivost“ pohybového aparátu. Jedná se o tzv. dopřednou zpětnou vazbu zpracování informací o pohybu zamýšleném, nebo o pohybu již vykonávaném. Toto zpracování informací se děje v mozečku a umožňuje tak krátkodobou predikci dění v zevním prostředí (Haith, Krakauer, 2012, Véle, 2006).

*Feed forward*, neboli včasná aktivace, je charakteristický pro cílenou stabilizační funkci a včasnou aktivací příslušných svalových snopců. U předpokládané změny těžiště je díky této dopředné vazbě zajištěna stabilní poloha (Rašev, 2005).

Významnou roli v posturální kontrole má také systém anticipačních mechanismů a zpětných vazeb, které byly popsány v předchozí kapitole „Neurofyziologie v řízení rovnováhy a posturální stabilizaci“.

### **2.3.3 Stabilizace**

Jedná se o aktivní proces řídicích dějů, tzv. neustálé nastavování ideálních poměrů svalové práce tak, aby byla zaručena stabilita (Janura, Janurová, 2007).

Véle se vyjadřuje o stabilizaci především v případě vertikální pozice lidského těla a uvádí, že stabilizace vertikální polohy je složitý dynamický proces, který vyžaduje součinnost subkortikálních struktur včetně cerebella. Na jejím řízení se účastní propioceptivní aferentace z vestibulárního aparátu, vizuálních informací a periferie pohybového systému, dále exteroceptivními kožními signály a interoceptivními informacemi z viscerálních orgánů. Vertikální poloha je výchozí polohou další lokomoce a manipulace a její dobrá stabilizace a kvalitní vyvažování za labilních situací, kterou stojí dle biomechanických zákonitostí je, je předpokladem pro mobilitu člověka. Jedná se tedy

o proces udržování rovnováhy ve vertikální poloze, který je možné sledovat pomocí posturografické techniky. Při zhoršení stability, kdy dojde k vychýlení COG ve vztahu k opěrné bázi, je stabilizace vzpřímené postury zajišťována aktivací tzv. posturálních svalů. Mezi ně jsou řazeny svaly nohy, lýtky, bérce, stehna a svaly osového orgánu (Véle, 1997).

Mechanické držení a zajištění stabilizační funkce jak osového orgánu, tak celé postury, je podpořeno aktivitou svalů pánevního dna, hlubokých břišních svalů, autochtonních zádových svalů – mm. multifidi, a především aktivitou a mechanickou činností bránice. Významnou stabilizační funkci má pak mechanický tlak v dutině břišní, který vzniká právě aktivitou bránice (Véle, 2006).

Ze svalů osového orgánu je největší význam z hlediska stabilizační posturální funkce připisován svalům muscui multifidi a musculus abdominis transversus. Svaly označované jako vzpřimovače páteře, mezi něž patří muscui multifidi, jsou dle anatomických atlasů a kineziologických publikací dělené na krátké a dlouhé (Kolář, 2009).

Hluboké svalstvo trupu zajišťuje stabilitu segmentu. Toto svalstvo zahrnuje mnoho svalů, které jsou vzájemně anatomicky obtížně odlišitelné. Nejhlouběji uložené svaly si zachovávají vývojově původní segmentální uspořádání a spojují vždy dva sousední obratle. Hlavní funkcí hlubokých zádových svalů je vzpřimování trupu a spolu s břišními svaly udržují trup ve vzpřímené poloze a tím se řadí mezi tzv. „posturální svaly“. Hluboké svaly lze rozdělit do několika skupin podle toho, jak postupují směrem od povrchu do hloubky, na systém sakrospinální, spinotransversální, spinospinální, transverzospinální a systém krátkých zádových svalů. Nejčastěji se s posturální funkcí zmiňují muscui multifidi, které se řadí k transversospinálnímu systému, tedy mezi ty svaly, které jsou páteři nejbliže a vyplňují jako krátké svaly prostory mezi příčnými a trnovými výběžky obratlů. Na tomto se shodují téměř bezvýhradně všichni autoři (Dylevský, 2009).

V případě špatné stabilizace nejsou zajištěny ani ideální výchozí podmínky pro lokomoční aktivitu, což má do budoucna za následek vznik bolestivých syndromů (Véle, 1997).

Dylevský se zmiňuje o stabilizaci ve spojení se stabilitou kloubu, kterou charakterizuje jako dynamický stav, kterého kloub dosahuje v určité poloze. Faktory, které ovlivňují stabilitu kloubu rozděluje na:

a) pasivní faktory stabilizace = vzájemný poměr tvaru kloubních povrchů, úprava vazů, kloubního pouzdra, disky a menisky, apod.

b) aktivní faktory stabilizace = svaly, které se podílejí na aktivním zabezpečení všech pohybových aktivit daného kloubu.

Dále také Dylevský rozebírá stabilní a nestabilní postavení kloubu. Stabilní postavení kloubu je velmi ekonomické pro svalovou práci – svalová aktivita je v rovnováze (Dylevský, 2007). O kloubní stabilitě pojednává i publikace *Brandom's Physical Medicine and Rehabilitation*, kdy stabilita kloubu je podmíněna taktéž faktory stabilizace jako kostní kongruence, kapsulární integrita, síla ligament, apod (Cifu et al., 2016).

Rašev pojednává o stabilizaci ve smyslu segmentální stabilizace v kloubu, především v oblasti segmentů páteře, čímž je zajištěna a umožněna cílená hybnost. Podmínkou je správná koordinace a rovnováha mezi působením svalové aktivity v segmentu. Dále uvádí, že stabilizační funkce svalu je vždy cílená. Stabilizační funkce svalu a jeho výkon a nastavení je určen anticipačními mechanismy řízení, které vycházejí ze zpětnovazebných informací např. o hmotnosti neseného břemena, rychlost, kterou se břemeno, nebo část těla pohybuje od okamžité těžnice těla, apod. (Rašev, 2005).

### **2.3.3.1 Posturální stabilizace**

Lidská schopnost stabilizovat během volných pohybů těla je předpokladem pro každodenní život a také důležitým předpokladem pro rehabilitaci. Pro dosažení stabilizované pozice musí posturální kontrolní mechanismy stabilizovat celé tělo a segment, který je spojený se zamýšleným pohybem. Posturální schopnost stabilizovat objekt držený v ruce byl zkoumán ve studii vedené Magnussonem s názvem „*Je objekt držený v ruce stabilizován při zmenšení posturálních pohybů, nebo může být stabilizován nezávisle na dalších posturálních pohybech?*“. Probandi v této studii stáli v prvním případě s otevřenýma, v druhém případě se zavřenýma očima na dynamické plošině snímající tlakové síly a zaznamenávající posturální výchylky těla. Probandi drželi v pravé ruce sklenici, která byla v prvním pokusu prázdná a poté naplněná barevnou vodou

po okraj. Úkolem bylo pokusit se stabilizovat sklenici, či nevylít vodu, zatímco testující rušil posturální nastavení aplikací vibrací na lýtkové svaly v souladu s pseudorandomizovaným standardem. Pohyby sklenice byly monitorovány se systémem SELSPOT. Posturální výchylky těla byly větší než pohyby sklenice ve všech testovaných případech při simultánní stimulaci a vychylování pomocí vibrací. Výchylky těla byly dokonce podobné ve všech čtyřech odlišných případech. V případě plné sklenice s vodou nebyl zaznamenán rozdíl v testování se zavřenýma, či s otevřenýma očima, ale v situaci, kdy byla sklenice prázdná, byl patrný nárůst výchylek těla při zavřených očích.

Tyto výsledky dosvědčují tvrzení, že je pro lidskou posturální kontrolu možné stabilizovat bod, který je dokonce mimo pomyslnou „soustavu souřadnic“ představující lidské tělo. Tento důkaz vede i k názoru, že při chůzi, či ostatních náročných posturálních akcích, je stabilizace hlavy v prostoru stejná asi jako stabilizace hlavy na trupu (Magnusson et al., 2000).

Ve funkční anatomii je možné se setkat s termínem „stabilizátor“ jako označení pro svalovou skupinu, či sval, jenž udržuje segmenty těla v dané vzájemné poloze a podílí se na udržování rovnováhy lidského těla, která může být různorodou volní činností narušována, např. předpažení horní končetiny za účelem úchopu hrníčku. Svaly označované jako „stabilizátory“ aktivně kompenzují změnu stability a mohou se nacházet i v místech vzdálených od kloubu, ve kterém je pohyb prováděn (<http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/anatomie.php>).

S posturální stabilizací souvisí pojem segmentální stabilizace svalu, kdy adekvátní svalová souhra intersegmentálních svalů trupu zajišťuje stabilizaci segmentu páteře tak, aby byla zajištěna jeho ochrana a zároveň tak umožněno provedení kvalitního pohybu. Pokud nefunguje tato souhra, označuje se tento stav jako funkční porucha a nejčastěji jsou mezi těmito funkčními poruchami zaznamenávány chronické bolesti dolní části páteře, označované v zahraniční literatuře jako *Low Back Pain* (LBP) (Franca et al., 2010).

Segmentální stabilizaci popisuje také Rašev ve svých publikacích a v její poruše vidí příčinu vzniku funkčních obtíží pohybového aparátu (Rašev, 2005).

Kolář popisuje posturální stabilizaci jako aktivní držení polohy segmentů těla svalovou silou proti působení zevních sil, především síly tíhové, a vytvoření vhodné aktivity svalů agonistů a antagonistů jejich vhodnou svalovou koordinací, která umožňuje držení segmentů těla proti působení zevních sil, nejen síly gravitační. Segmentální

stabilizace je přítomná při všech pohybech. Schopnost stabilizovat znamená ve své podstatě schopnost zpevnit, např. schopnost stabilizovat kloub během pohybu tak, aby odolal výchyilkám zevních působících sil, apod.

Dále se Kolář věnuje i pojmu posturální reaktibilita, kterou definuje jako reakci a vyvinutí větší síly pro překonání odporu – např. hod míčkem, v situacích zvýšeného nároku na stabilitu a pro umocnění stabilizace (Kolář, 2009).

### 2.3.4 Posturální stabilita a její dělení

Stabilita lidského těla je zajišťována neustálou prací svalových skupin agonistů a antagonistů, které proti sobě navzájem působí, a jejich vyvážená aktivita vede ke stabilizaci segmentů lidského těla. Toto „přetahování“, jak by se mohlo zdát, je velmi efektivní koordinovanou a velmi specializovanou jemnou motorickou funkcí ([biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/propedeutika\\_analyza.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/propedeutika_analyza.php)).

Podle Vařeky je posturální stabilita je schopnost zajistit vzpřímené držení těla tak, aby nedošlo k nezamýšlenému a nekoordinovanému pádu. Tento pojem se vztahuje právě k vertikální vzpřímené poloze člověka. Kolář vyzdvihuje v souvislosti s posturální stabilitou vliv biomechanik a neurofyziologických faktorů i psychických vlivů na její řízení (Kolář et al., 2009, Vařeka, 2002).

Dylevský stabilitu osového orgánu definuje jako schopnost fixovat tzv. klidovou konfiguraci páteře danou tvarem obratlů a zakřivením páteře jako celku a toto základní postavení si udržet. Jedná-li se o udržení nastavení v klidu, hovoří se o **statické stabilitě**. Pokud jde o fixaci změn, ke kterým dochází při pohybu, je tento stav považován za stabilitu dynamickou.

Dylevský podotýká, že statická stabilita osového orgánu je podmíněna třemi „stabilizačními pilíři“ – předním a dvěma postranními, které jsou definované obratlovými těly a okolními vazivovými a chrupavčitými strukturami.

**Dynamická stabilita** osového orgánu je naproti tomu podle Dylevského podmíněna pružností axiálních vazivových struktur a svaly. Právě vazivové struktury jsou významným zdrojem aferentních informací, které po zpracování v CNS zajišťují pracovní nastavení – dynamickou stabilitu příslušných segmentů a sektorů osového

orgánu. Zajištění dynamické stability je dále realizováno řídicí složkou a stabilitou systému (Dylevský, 2009).

Autoři Taube a Gollhofer rozdělují *equilibrium* a také stabilitu na statickou a dynamickou. **Statickou stabilitu**, neboli statické *equilibrium* vysvětlují jako stav, kdy všechny momenty sil působící na lidské tělo jsou vyvažované při udržování specifické polohy těla, např. stoj. Ačkoli autoři upozorňují na skutečnost, že vzhledem k tomu, že samotný stoj může být chápán jako proces, který zahrnuje neustálé jednání a kooperaci mezi neurální a svalovou aktivitou, měl by být v těchto případech pojem „statická stabilita“, i přes jeho velmi široké používání a rozšíření, používán s obezřetností.

Protěžskem ke stabilitě statické je **stabilita dynamická** (anglicky též *dynamic equilibrium*), kdy je rovnováha a stabilní pozice udržována navzdory pohybům těla. Člověk si není vědom komplexností a složitostí tohoto úkolu, kdy je posturální systém pod neustálým tlakem vybalancovat, či vyvažovat výchylky COG, které leží ve výšce okolo jednoho metru, vůči malé opěrné bázi (Taube, Gollhofer, 2012).

Posturální stabilita je velmi ovlivňována emoční složkou, psychikou. Ve studii zabývající se vlivem výšky na prostorovou orientaci a bilanci lidského těla u lidí s akrofobií bylo prokázáno, že psychická složka, tedy zde konkrétně strach z výšek, velmi ovlivňuje bilanci celého těla. Měření probíhalo za použití stabilometrického přístroje na zemi a poté ve výšce deseti metrů a dvaadvacet centimetrů. Probandi neudávali v anamnéze potíže s vertigem, či závratěmi. Výrazné zhoršení nastalo právě při měření ve výšce, ačkoli probandi s akrofobií neprojevovali známky poruchy posturální stability při měření na zemi, v nula metrech výšky. Výsledky se lišily i v případě, pokud měl proband zavázané oči a byl doveden na střechu do uvedené výšky aniž tušil, kde se nachází. V tomto případě byla prokazatelně lepší posturální stabilita a na stabilometru byly zaznamenány menší výchylky COG. Tento silný vliv emoční úzkosti a anxiety na posturální stabilitu byl potvrzen i v dalších studiích. Mimo jiné bylo zjištěno, že strach až děs způsobený z výšek, či výše uložených míst, může způsobit u lidí rigiditu a velmi velké silové zatížení chodidel, taktéž změřené na stabilometrické tlakové plošině, ačkoli je u jedinců vyloučená neurologická patologie (Nakahara et al., 2000).

Naproti tomu leží fenomén posturální instability, tedy opak posturální stability, který je chápán jako nedostatečná schopnost stabilizovat se za určitých podmínek většinou kladoucí zvýšené nároky na posturální systém, např. náledí na chodníku, věšení



záclon na garniž ve výšce, aj. Posturální instabilita je nejčastější příčinou pádů ve stáří s možnými následky zranění a indispozic a představuje tak velký podíl ve zdravotnické péči. Následky těchto pádů jsou velkým problémem pro zdravotnictví, představují velké procento nákladů na zdravotnickou péči. V USA bylo statisticky dokázáno, že třetina až jedna polovina populace starší 65 let má zkušenost s minimálně jedním pádem. Následkem může být zlomenina stehenní kosti v oblasti krčku femuru, která až z 10% může vést k umrtí na následné komplikace při hospitalizaci, a až 25% se potýká s následky ve formě disability a snížené soběstačnosti. Tato situace se týká i velké části Evropy, kde neustále narůstá podíl stárnoucí generace. Celospolečensky tak tato problematika nabývá na závažnosti, protože výdaje a náklady spojené s následky pádů tvoří velkou položku ve zdravotnictví. Studium této problematiky je v posledních dekádách velmi intenzivní. Proto je nutné působit na tento problém včasnou intervencí, diagnostikou a vhodnou preventivní terapií (Vařeka, 2002, Goebel et al., 2000).

K včasnému rozpoznání posturální instability jednak pomůže orientace v problematice posturální stability a rovnováhy pro vhodné zvolení diagnostických baterií, včetně přístrojových technik poskytující objektivní data a následné určení efektivní terapie. Jakákoli nestabilita, čili instabilita má za následek zvýšení svalové práce, zvýšené svalové úsilí, které má za cíl korekci takové situace. Je však velmi neekonomické, neefektivní a dlouhodobě může vést k funkční problematice v oblasti svalové činnosti ([http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/kineziologie/propedeutika\\_analyza.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/kineziologie/propedeutika_analyza.php))

Bylo prokázáno, že pravidelná fyzická aktivita má pozitivně ovlivňuje posturální kontrolu a posturální stabilitu. Ve studii vedené Perrinem bylo na skupinách starších lidí ve věku 60 a více let testováno, zda fyzická aktivita zlepšuje posturální stabilitu. Skupiny byly rozdělené podle toho, zda se účastnily pravidelného cvičení, nebo ne. Skupina provozující pravidelně pohybové aktivity měla prokazatelně lepší výsledky než skupina necvičících probandů. Výsledky byly prokazatelně lepší i v případě, že proband začal s aktivním cvičením v pozdějším věku. Vyhodnocování probíhalo pomocí specifických posturografických testů (Perrin et al., 2000).

Nejčastěji je rozlišována posturální stabilita na statickou a dynamickou. V kineziologii lze najít i jiné členění stability a v některých publikacích se lze setkat také s rozlišením stability na „stabilitu vnitřní“ a „stabilitu vnější“, jak uvádí např. Čumpelík. Stabilita vnitřní je zajišťována krátkými, hluboko uloženými svaly, které jsou svou funkcí

segmentálně orientované. Naproti tomu stabilita vnější je určena tím, že na jejím udržení se podílí svaly povrchově uložené (Čumpelík et al., 2001).

### **2.3.5 Balance a rovnováha**

Vařeka pojmy rovnováha a balance vysvětluje jako soubor statických a dynamických strategií pro udržení posturální stability a řadí sem děje označované jako „postojové a vzpřimovací reflexy“ a podotýká, že zde označení „reflexy“ je zavádějící a nevhodné (Vařeka, 2002).

Véle vysvětluje rovnováhu lidského těla jako proces udržování za neustálého „souboje“ svalových skupin, které proti sobě antagonisticky působí (Véle, 1997).

Véle používá slova „balance“ jako „stálé vyvažování“, který umožňuje velmi rychlou a pohotovou změnu směru pohybového vektoru. Je to tedy důkaz vždy přítomné posturální kontroly a procesu posturální stabilizace, neustálé svalové souhry a spolupráce agonistů a antagonistů, která má za cíl posturální stabilitu, rovnováhu lidského těla. Balance je ovlivňována vizuálními informacemi, a dalšími vstupy (Goebel et al., 2000, Véle, 1997).

S pojmem rovnováha souvisí také tzv. rovnovážné schopnosti, které se řadí mezi koordinační schopnosti a mají za cíl udržet tělo během pohybu a činnosti v rovnovážné vzpřímené poloze těla. Někteří autoři podotýkají, že rovnovážné schopnosti se uplatňují ve všech pozicích lidského těla s výjimkou polohy vleže (Gryc, 2014).

V české literatuře je rovnováha dělená na statickou, dynamickou a někteří autoři přidávají i tzv. balancování, stálé vyvažování (Véle, 1997, Janura, 2007).

V zahraniční literatuře se lze setkat s pojmy *postural control*, která spíše odpovídá statické rovnováze, vyvažování ve statické poloze a pro dynamické schopnosti za pohybu se uplatňuje v moderních koncepcích pojem *dynamic balance*, či *locomotor balance* (Gryc, 2014).

### **2.3.6 Lidské tělo ve vertikální pozici – stoj**

Lidská postura ve vertikálním stoji je přirozeně nestabilní kvůli relativně vysoko uloženému *center of mass* (COM), a úzké opěrné bázi. Relativně velké množství kloubů

spojující COM a opěrnou plochu je rovněž nepříznivým faktorem. Tyto klouby jsou překlenovány skupinami svalů, které musí být koordinovány, aby zajistili stabilitu postury ve vertikální poloze. Kontrola posturálního nastavení těla je o to složitější, vezme-li se v úvahu fakt, že člověk nejenže chodí a stojí ve vertikální pozici, ale také při tom vykonává další činnosti, pohybuje rukama, zároveň manipuluje s předměty, atd. Kromě toho vyžadují měnící se vnější síly působící na lidské tělo rychlé nastavení aktivity posturálních svalů k udržení rovnováhy.

Lidské tělo má několik nástrojů k zajištění stabilní vertikální polohy těla a její obraně před destabilizačními činiteli a výchylkami těžiště. Pokud jsou tyto výchylky spuštěny a iniciovány člověkem samotným (např. zvedání těžkého předmětu), posturální nastavení má přednost před destabilizujícími účinky. To je založeno na vnitřních hodnotících mechanismech, které vyhodnocují aktuální výchylky těžiště. Pokud výchylka nastane, pak svaly, šlachy, a periferní mechanické vlastnosti (mechanické viskoelastické vlastnosti) pomáhají minimalizovat působení vychýlení na stabilitu. Modulace těchto schopností, např. změna v nastavení svalové kokontrakce, se může jevit jako dostatečná pro zvládnutí působení výchylek ze stabilní pozice. Dále se tohoto děje účastní spinální reflexy, které pomáhají zasáhnout proti změnám ve svalové délce v řádech 30 až 50 ms. O něco později nastupují přednastavené mechanismy pracující proti vnějším rušivým vlivům. Zbylé efekty ovlivňující stabilní vertikální polohu těla svědčí o volných změnách v řízení svalové aktivity posturálních svalů (Hadders-Algra et al., 2008).

Lidský stoj a lokomoce je závislá na balančních schopnostech, schopnosti balancovat, vyvažovat a na schopnosti posturální kontroly. Winter podotýká, že pro udržení rovnovážné polohy a postury je nutná svalová aktivita, svalová práce, jak ve smyslu pozitivním – svalová kontrakce koncentrická, tak negativním – svalová kontrakce excentrická., díky níž jsou segmenty lidského těla schopny odolávat gravitační síle.

Lidské tělo se ve vzpřímené vertikální pozici chová jako obrácené kyvadlo. Takto jej připodobňuje biomechanika na základě výpočtů působících vnějších a vnitřních sil (Taube, Gollhofer, 2012, Winter, 1979).

Během klidného stoje dochází ke zpětnovazebným kontrolám a regulacím posturálních výchylek a jejich analýze takřka neustále. Pokud se jedinec snaží stát klidně, dochází k nevyhnutelným spontánním změnám nastavení v jednotlivých mechanických dějích charakteristických pro vertikální stoj, jako je neustálá lokalizace COM (center of

mass), a inklinace trupu. Trajektorie pohybů COP a COM bodů lidského těla a jejich charakteristiky vzhledem k podložce jsou běžně prozkoumávány. Rozdílné charakteristiky výchylek při klidném stoji byly studovány z hlediska jejich rychlosti, závislosti na čase, velikosti plochy, do které trajektorie zasahuje, a dostupné jsou i studie sledující odpověď temporálních struktur na výchylku stoje. Některé studie dokonce podávají zprávu o nedostatečné korelaci mezi komponenty pracující při výchylnkách v mediolaterálním a anteroposteriorním směru. Tato zjištění však nejsou zjevně jasná, jelikož většina svalů nohou a trupu vynakládá mechanickou akci, která není vázaná na směr pohybu. Z toho vyplývající domněnka o rozdělení komponent pro regulaci výchylek pravděpodobně poukazuje na přesně účelné neurální strategie řízení.

Původ přirozených posturálních výchylek je všeobecně nejasný. Na základě studií a pozorování byly vytvořeny hypotézy, podle nichž posturální výchylnky vznikají jako výsledek pomyslných „výpočetních procesů“, či jako výsledek působení dvou superpozic ve dvou protichůdných procesech. Některé práce dokonce hovoří o hypotetickém kontrolním procesu, který se za těmito výchylnkami skrývá (Hadders – Algra et al., 2008).

Poloha těla ve vzpřímeném stoji vedle zákonitostí působících sil a poloh těžiště, jak je popisuje biomechanika, předpokládá i dobrou integritu soustav podílejících se na základních procesech, jaké jsou detailně popsány v neurofyziologické části diplomové práce. Pro klidný stoj je úkol jasný a relativně jednoduchý a to udržení COG těla vertikálně orientované nad opěrnou bází. Během chůze však tento systém musí přemísťovat COG do odpovídající pozice s každým krokem. Proto, pokud vznikne deficit, ve kterékoli části řídicích, či výkonných mechanismů, nastává složitá situace a riziko zvýšeného výskytu pádů buď během klidného stoje bez posunu COG, nebo s posunem COG např. během chůze (Goebel et al., 2000).

Nyní stále probíhá debata o tom, zda se tzv. svalová tuhost podílí na posturální stabilizaci během klidného stoje, či ne. Svalová tuhost je pojem, který je obvykle definován jako „*nárůst svalové síly proti svalovému prodloužení*“, takto ji definuje Latash. Winter a jiní autoři tvrdí, že svalová tuhost hraje významnou úlohu v posturální kontrole a stabilizaci klidného stoje. Některé studie dokonce přichází s názory, že samotná tuhost svalů v okolí hlezenního kloubu má vliv na vzpřímené držení těla (Latash, Zatsiorsky, 1993). Vyskytují se však i zcela protichůdné názory, které roli svalové tuhosti v posturální stabilitě zcela vyvracejí (Hadders-Algra, 2008).

## **2.4 Měření a hodnocení rovnováhy a posturální stabilizace pomocí přístrojové techniky**

Přístrojové hodnocení stability, či stabilizace je založeno na měření kinematických vlastností, nebo dynamických, čili silových projevech člověka. V komerční sféře jsou přístroje k měření stability sestaveny na rozdílných parametrech, a to buď kinematických, nebo dynamických, podle kterých je rovnovážná funkce hodnocena. Je potřeba také zmínit, že informace vyhodnocované softwarem přístrojového zařízení nejsou kompletní. Přístroj hodnotí informace podle toho, jaká je nejjasnější, nejlépe zjistitelná, nehodnotí všechny informace, které získává, kvůli jejich obrovskému množství. Přístrojová metodika hodnocení nebere v úvahu princip řízení rovnováhy, ale pouze slepě pracuje se získanými hodnotami, nebo dále pracuje s matematickými modely, které má k dispozici pro fyzikální interpretaci.

Ačkoli se toto zdá být velmi zavádějící a lze usuzovat na špatnou věrohodnost takových výsledků postavených na odlišné měřicí strategii a na nízkém počtu vyhodnocovaných dat, je nutné podotknout, že přístroje nelze vybavit všemi analyzátory veškerých vstupů, jelikož by takové vyhodnocování nebylo reálné z hlediska časových podmínek, zkrácení dat obtížným vyhodnocováním, a výstupem by byly velmi nespécifické výsledky (Robertson et al., 2014).

Současně používané metody přístrojového hodnocení vychází z velkého počtu testování a na tomto základě byla ustanovena platná norma interpretace vyhodnocení klinického měření rovnovážných a stabilizačních funkcí.

Po předložených faktech lze usoudit, že i měřicí technologie, ačkoli poskytují exaktní data a statisticky platné informace, je nutno chápat pouze jako dílčí jednotku v celkovém kontextu metod jak klinických, tak přístrojových pro hodnocení stability a stabilizace a nikoli jako směrodatné ukazatele (Kolář, 2009).

### **2.4.1 Přístrojová dynamometrie**

Dynamometrická vyšetření výstupních sil poskytují informace o úrovni svalové síly při izometrické kontrakci, kdy je tato síla měřena ve statické pozici. Měření spočívá ve snímání a zaznamenávání průmětu sil působících na dynamometrickou plošinu.

Dynamometry zaznamenávají kontaktní síly na dynamometrické desce, jejich směry a výslednice (Vaverka, 1995).

Nejčastěji používaný způsob snímání těchto sil je využitím tlakové - tenzometrické, nebo silové plošiny, která pomocí senzorů snímá síly na ní působící. V současnosti jsou dostupné dva typy senzorů pro klinické využití: 1) mechanické snímání napětí, a 2) piezoelektrické krystaly. Desky snímající napětí na mechanickém principu snímání tlaku jsou levnější a mají dobré statické vlastnosti, avšak nemají takový rozsah a senzitivitu jako piezoelektrické krystaly. Platformy s piezoelektrickými krystaly mají velmi vysokou výpovědní hodnotu, ale musí být vybaveny speciálním elektronickým systémem pro schopnost měření statické síly. Nejvíce plošin je konstruováno pro 3D měření, kdy reakční síly působící na plošinu jsou rozloženy do třech navzájem kolmých os. Uvažuje se osa vertikální (Z) délka plošiny (Y) a příčná osa délky plošiny (X). Primární působící síla na plošinu je síla tíhová objektu nacházejícího se na plošině. Plošina měří sílu, která je silou reakční k síle tíhové tělesa na plošině. Následným matematickým výpočtem je získána poloha COP (Kolář et al., 2009, Robertson et al., 2014).

Tlakové plošiny pracují na principu „*je jedno kolik objektů působí sílu v různém místě na povrchu plošiny, protože je zde pouze jeden výsledný vektor působící síly*“, který je číselným a fyzikálním ekvivalentem pro všechny působící síly. Protože tento silový vektor je často vektorem sil působících na ploše kontaktu s povrchem plošiny, je jeho lokace nazývána jako COP. Důležitým parametrem je též tzv. *plate reference system*, se kterým musí souhlasit i výsledný vektor.

Každý typ silové, nebo tlakové plošiny má svůj vlastní unikátní set hodnocených faktorů, ze kterých je měřeno šest základních reakcí. Mezi těchto šest kvalit patří tři komponenty výsledného vektoru působící síly, umístění COP vektoru reakční síly na plošině. Každá plošina má svůj vlastní unikátní *plate reference system*, který je definovaný výrobcem. Příkladem mohou být plošiny *AMTI plate* využívající mechanického snímání napětí působícího na plošinu (AMTI, Watertown, MA), či *Kistler platform* s piezoelektrickými krystaly (Kistler AG, Winterthur, Switzerland). Využití dynamometrie je jak pro hodnocení statické pozice, např. stoje ve vzpřímené pozici na dolních končetinách, tak pro dynamický lokomoční pohyb, např. chůzi, kdy je využita kombinace dvou a více platform (např. Footscan). Nejčastěji je zobrazována křivka a poloha COP v čase, nebo se využívá porovnání COP s polohou nohou, opěrnou bází. Tyto

systemy jsou využívány pro výzkum a hodnocení postury, balance a rovnovážných schopností (Robertson et al., 2004).

Tlakové plošiny Kistler s piezoelektrickými krystaly jsou více využívány ve výzkumném sektoru a v klinické praxi nejsou tak rozšířené. Piezoelektrické senzory jsou velmi přesné a citlivé pro měření působících sil (<https://www.kistler.com/?type=669&fid=92&model=download>).

Dynamometrický systém NeuroCom je pak přímo určen pro klinickou praxi. Systém NeuroCom je navíc vybaven softwarovou aplikací, která umožňuje porovnávat a hodnotit výsledky testů s normativními hodnotami, jež byly získány statistickým sběrem dat z hodnocení u zdravých jedinců (Kolář et al., 2009).

#### **2.4.1.1 Posturografie**

Nároky na objektivní hodnocení posturální kontroly při pohybech lidského těla vedly k vývoji velké škály různých posturografických systémů. Základním principem těchto měření je závislé na snímání sil vyvíjených tlakem chodidla na podložku, které jsou zaznamenávány silovou plošinou. Současné zaznamenávání těchto tlaků několika senzory najednou, dovoluje vypočítat moment sil různých směrů, nejčastěji ve třech rovinách, které jsou produkovány člověkem stojícím na plošině. Na základě matematických výpočtů je dosažen výpočet centra působení sil na podložku, tzn. výsledný vektor působících sil.

Posturografický zápis – posturogram, nebo stabilogram, nevypovídá o průběhu pohybů, ale spíše o působení stabilizačních sil.

K hodnocení posturálních kompetencí se nejčastěji využívá výsledků měření sil při vertikálním stoji a jeho variacích a záznamu posturálních výchylek lidského těla. Důležité jsou záznamy o průběhu výchylek COP, jejich amplituda, variace, průběh výchylek v anteroposteriorním a latero-laterálním směru, rychlost výchylek a jejich celková opsaná trajektorie. Standardizovaný diagram k hodnocení a objektivizaci výsledků byl vytvořen korporací NeuroCom pro přístroj Balance Master, který se nejčastěji využívá pro klinické hodnocení (Cesarani, Alpini, 1999).

Posturografie se zabývá vyšetřováním posturálních, neboli statokinetických funkcí. Lze vyšetřovat jak její fázi statickou, tak dynamickou.

O **statickou posturografii** se jedná tehdy, pokud je hodnocena stabilita v podmínkách, kdy se ani posturografická plošina, ani pacient nepohybují (prostý stoj ve vertikále, apod.). Principem statické posturografie je sledování pohybu lidského těžiště, jeho zrychlení a velikost plochy a trajektorie, kterou tvoří svým pohybem v definovaném čase. Měření jsou reakční síly, resp. jejich rozložení ve třech rovinách, které působí na tenzometrickou silovou plošinu. Během vyšetření je možno selektivně testovat jednotlivé senzorické systémy vyloučením např. zraku, nebo propioceptivních aferencí z podložky (Kolář et al., 2009).

Statická posturografie je rychlým a efektivním nástrojem k objektivnímu zhodnocení posturální stability a rovnováhy (Toupet et al., 1994).

Statické posturografické vyšetření se provádí po předchozí kalibraci a vyšetřovaná osoba má buď oči zavřené, nebo otevřené. Vzájemný poměr naměřených hodnot mezi vyšetřeními při zavřených a otevřených očích může upozornit na poruchy periferní (velký rozdíl mezi hodnotami při zavřených a otevřených očích), centrální (velké hodnoty při zavřených/otevřených očích při malém vzájemném rozdílu), nebo na poruchy smíšené (velké absolutní hodnoty při velkých rozdílech). Celkový vývoj lze sledovat za pomoci tzv. Fournierovy analýzy, která názorně analyzuje jednotlivé pohybové vektory (Hahn, 2004).

**Dynamická posturografie** je vyšetřovací metoda na posturografické plošině v situacích, kdy se pohybuje buď pacient na plošině (chůze a její modifikace, koordinační aktivity, překonávání překážky, manipulace s předmětem), nebo je pohyblivá plošina pod pacientem a rovnováha pacienta je porušena zevním stimulem. Hodnoceny jsou reakční časy balančních reakcí pacienta. Dynamická posturografie zaznamenává průběh výchylek COP v antero-posteriorním a latero-laterálním směru. Profily amplitud jsou pak při konkrétním měření porovnávány s obecně platnou normou. Výchylky frekvencí amplitud slouží k identifikaci fyziologických, či patologických vzorů posturálních poruch. Mezi přístroje využívající dynamické posturografie patří např. Equitest systému NeuroCom, a další (Goebel et al, 2000, Kolář et al., 2009).

Dynamická posturografie se využívá k hodnocení rovnováhy a vypovídá tak o posturální stabilitě. Pomocí této metody lze hodnotit posturální stabilitu jak u jedinců



zdravých, u pacientů s poruchami vestibulárního aparátu, tak u pacientů s polyneuropatií. Tato metodika je širokospektrálně využitelná u všech jedinců bez ohledu na věk, kondici, či přidružená onemocnění. U daných onemocnění jsou sledovány specifické fenomény ve změně posturální stability a rovnováhy. Během posturografického měření je možné na plošině provádět specifické testy, NAPŘ. Rombergův test a jiné.

Obecně platné výstupní parametry získané z hodnocení na tenzometrické plošině jsou:

1. Velikost amplitudy vychýlení COP v anteroposteriorním, nebo mediolaterálním směru
2. Délka trajektorie, kterou COP urazí během měření
3. Plocha konfidencí elipsy

Dynamické posturografické techniky jsou schopny změřit motorické reakce vyvolané pohybem na pohyblivé platformě. Tím jsou sledovány reakce pohybového chování, posturální kontroly a udržování balance díky regulačním mechanismům posturálního systému (Toupet et al., 1994, Jauregui-Renaud et al., 2000).

#### **2.4.1.2 Využití posturografie v klinické praxi**

*„Posturografické vyšetření je využíváno k objektivizaci balančního deficitu u pacientů s poruchami rovnováhy“.* Nejedná se o diagnostickou metodu, ale výsledky z posturografického měření mohou sloužit k porovnání se základní diagnózou pacienta a s výsledky ostatních vyšetření. Posturografie slouží pro dlouhodobé sledování vývoje poruch rovnováhy, nebo vlivu terapie a léčby na balanční schopnosti a stabilitu (Kolář et al., 2009).

Přínos posturografie k objektivnímu hodnocení rovnovážných funkcí je nesporný, avšak autoři Cerasini a Alpini upozorňují na skutečnost, že ačkoli měření klidného stoje může přispět k vyloučení diagnózy závažnější poruchy s projevem horší posturální kontroly, je variabilita normálního nálezu individuálních odpovědí na posturální výchylky při měření tak široká, že se klinická užitnost a výpovědní hodnota výsledků může zdát nejednoznačná, či dokonce nedostatečná. Proto byly vyvinuty systémy, které zvyšují nároky na posturální kontrolu. Hlavní myšlenkou bylo zjistit přítomnost deficitu v systému posturální kontroly, která může být odhalena, pokud do hodnocení stoje budou zahrnuty též sensorické vstupy a aferentní informace. Kvůli adaptabilitě posturálního

systemu na danou situaci se totiž klasická statická posturografie využívající k hodnocení na plošině např. testů podle Romberga stala nedostatečnou pro klinické využití a diagnostiku.

Zahrnutí sensorických vstupů do hodnocení posturální kontroly se podařilo díky systému přístroje Equitest (NeuroCom, Clackamas, Oregon, USA), který využívá několika dílčích testů během měření na posturografické plošině, mezi ně se řadí i tzv. SET – Sensory Integration Test. Jedná se zároveň o pravděpodobně nejrozšířenější systém pro klinické posturografické hodnocení na světě (Cesarani, Alpini, 1999).

Mezi nejčastěji v praxi používané přístroje pro klinické hodnocení a měření rovnovážných funkcí a posturální kontroly patří následující systémy.

### **Balance Master, NeuroCom – statická a dynamická posturografie**

Systém NeuroCom umožňuje hodnocení posturálních a rovnovážných schopností. Standardizovaný diagram byl vytvořen pro hodnocení rovnovážných funkcí pro tři základní situace: 1) stoj s otevřenými očima, 2) stoj se zavřenými očima, 3) s vizuálním feedbackem. V hodnocení se promítá záznam COG na opěrnou podložku a jeho ideální pozice. Plošina Balance Master obsahuje více plošin dohromady. Každá dílčí plošina má své snímače a díky tomu je možné zaznamenávání snímání působících sil ve více osách (Cesarani, Alpini 1999).

Systém Balance Master<sup>®</sup>, či SMART Balance Master<sup>®</sup> (viz Obr. 5) je vhodný pro objektivní hodnocení balančních schopností a pro dynamický trénink stability. Jeho uplatnění je ve vyšetření, sledování změn balance v čase a zároveň je využitelný jako terapeutický nástroj. Dynamická složka posturální kontroly je hodnocena při odjištěné pohybuující se plošině, nebo v rámci terapie s využitím balančních pomůcek na stabiometrické plošině Balance Master<sup>®</sup>. Vizuální biofeedback motivuje pacienta k dosažení lepší balance v rámci daných cvičení. Vizuální okolí a plošina se pohybují buď jako odpověď na pohyby vyšetřovaného, nebo jsou výsledkem pohybů vyšetřované osoby. Vizuální okolí a plošina se pohybují různými rychlostmi, v různých směrech (latero-laterální a antero-posteriorní směr) s následnou motorickou odpovědí vyšetřovaného. Systém obsahuje protokoly standardizovaných stabilometrických testů, jako např. Sensory Organisation Test (SOT), Adaptation Test (AT), Limits Of Stability

(LOS), Sit To Stand test (STS), který kvantifikuje schopnost pacienta vstát ze sedu do vertikální pozice stoje, Step-Quick-Turn (SQT) pro hodnocení balanční schopnosti v situaci po dvou krocích a otočení o 180°, a další ([http://www.natus.com/documents/015367A\\_SMART-BM\\_EN-US\\_lores.pdf](http://www.natus.com/documents/015367A_SMART-BM_EN-US_lores.pdf)).



Obr.5: Hodnocení rovnovážných schopností a posturální kontroly systémem SMART Balance Master, NeuroCom© ([http://www.natus.com/documents/015367A\\_SMART-BM\\_EN-US\\_lores.pdf](http://www.natus.com/documents/015367A_SMART-BM_EN-US_lores.pdf))

### **Vizuální zpětnovazebná posturografie – *visual feedback posturography***

Vizuální zpětnovazebná posturografie, nebo také vizuální zpětnovazebná stabilometrie byla vyvinuta pro hodnocení a cvičení posturální kontroly v rámci vestibulární rehabilitace a terapie. Během hodnocení na plošině s vizuálním feedbackem jsou do posturálního řízení integrovány senzorní vstupy ze zrakových, proprioceptivních a vestibulárních orgánů. Jedinec během měření má bezprostřední zpětnou vazbu o jeho posturálních silách při sledování pohybů jeho COG, který je jako bod zobrazen na obrazovce před probandem a jehož polohu se snaží jedinec dosáhnout, či udržet. Integrovaný modul umožňuje trénink rovnováhy s využitím vizuální zpětné vazby, kdy pacient kontroluje na obrazovce polohu těžiště (Kolář et al., 2009, Hirvonen et al., 2000).

Vizuo-vestibulární biofeedback je terapeutická metoda, která využívá diagnostického přístroje – počítačového posturografu ke speciálně uzpůsobenému vestibulárnímu tréninku. Tato metoda je využívána jak v rámci diagnostiky, tak ke speciální terapeutické intervenci. Příkladem může být systém Equitest, nebo Balance Master (NeuroCom, Clackamas, Oregon, USA) ([http://www.natus.com/index.cfm?page=products\\_balance\\_mobility&crd=268](http://www.natus.com/index.cfm?page=products_balance_mobility&crd=268)).

Ve švédsko-finské studii bylo zkoumáno, zda pomocí tzv. *visual feedback posturography* (v překladu vizuální zpětnovazebná posturografie) je možné hodnotit aktivní složku posturální kontroly na tlakové/silové platformě. Záměrem bylo určit účinek vestibulární rehabilitace u rozdílných parametrů *visual feedback posturography*. Jako probandi byli zvoleni pacienti s unilaterální vestibulární poruchou, kteří absolvovali vestibulární rehabilitaci, která by měla mít účinek na zlepšení posturální stability. Při měření na posturografické plošině s vizuálním feedbackem se bod COG pohyboval do osmi směrů, podle toho, do kterého ze zvolených směrů se plošina skláněla. Výsledkem bylo pozitivní zjištění, kdy vizuální zpětnovazebná posturografie byla ohodnocena jako použitelná k hodnocení aktivní, či dynamické složky posturální kontroly, zde konkrétně během vestibulární terapie (Hirvonen et al., 2000).

### **Equitest, NeuroCom – statická posturografie**

Equitest představuje formu statické posturografie pro možnost odlišení vlivu senzorických informací na posturální kontrolu a rovnovážné schopnosti (Cesarini, Alpini, 1999).

Systém Equitest nabízí soubor několika protokolů klinických nástrojů a testů pro hodnocení posturálních schopností během standardizovaných situací. Jedním z nejčastěji využívaných je SOT – *Sensory Organisation test*, často nazývaným také *Sensory Intergration test*. SOT systému Equitest umožňuje hodnocení souborů šesti situací s vyrušením senzorických informací pro určení senzorické integrace. SOT probíhá na dynamické platformě a jsou zaznamenávána snímaná data a tím stanoveny hodnoty skóre výchylek. SOT je prováděn při snímání na dynamické plošině. SOT se skládá z šesti senzorických testů. Výsledek poukazuje na skóre rovnováhy (Sirevaag et al., 2000). V prvních třech testovaných situacích vyšetřovaná osoba stojí na pevné stabilní plošině a jsou hodnoceny výchylky v anteroposteriorním směru jako část maximální výchylky.

V dalších třech bodech testování se plošina stává pohyblivou, nestabilní. Je hodnoceno následujících šest definovaných standardizovaných situací, které jsou také znázorněny na obrázku pod textem.

Podmínky 1-3 jsou při stabilní nepohyblivé plošině.

1. stoj s otevřenýma očima

2. stoj se zavřenýma očima

3. zrakové pole se pohybuje s pohybujícím se znázorněným bodem COP vytvořeným působením chodidel na podložku, aby došlo k narušení vlivu vizuálních informací na pohyb.

Podmínky 4-6 jsou testovány při pohyblivé nestabilní plošině. Platforma je pohyblivá a reaguje na tlak, který je na ni vyvíjený. Plošina reaguje při zvýšení tlaku sklopením v anteroposteriorním směru, ve směru palců u nohy při zvýšení tlaku směrem dopředu.

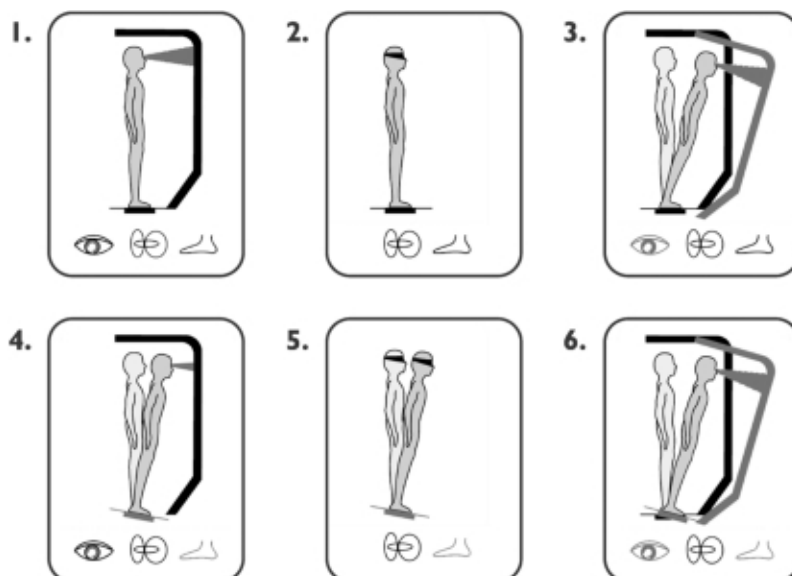
4. stoj s otevřenýma očima

5. stoj se zavřenýma očima

6. pohyblivé vizuální okolí s pohybujícím se znázorněným bodem COP pro narušení vizuálních informací.

Výsledky z testů 3, 5 a 6 ukazují na deficit v senzoričké integraci informací.

Průběh testování protokolem SOT je znázorněn na obrázku níže (viz. Obr. 6).



Obr.6: Znázornění průběhu testování pomocí Sensory Organisation Test (Oliviera et al., 2011)

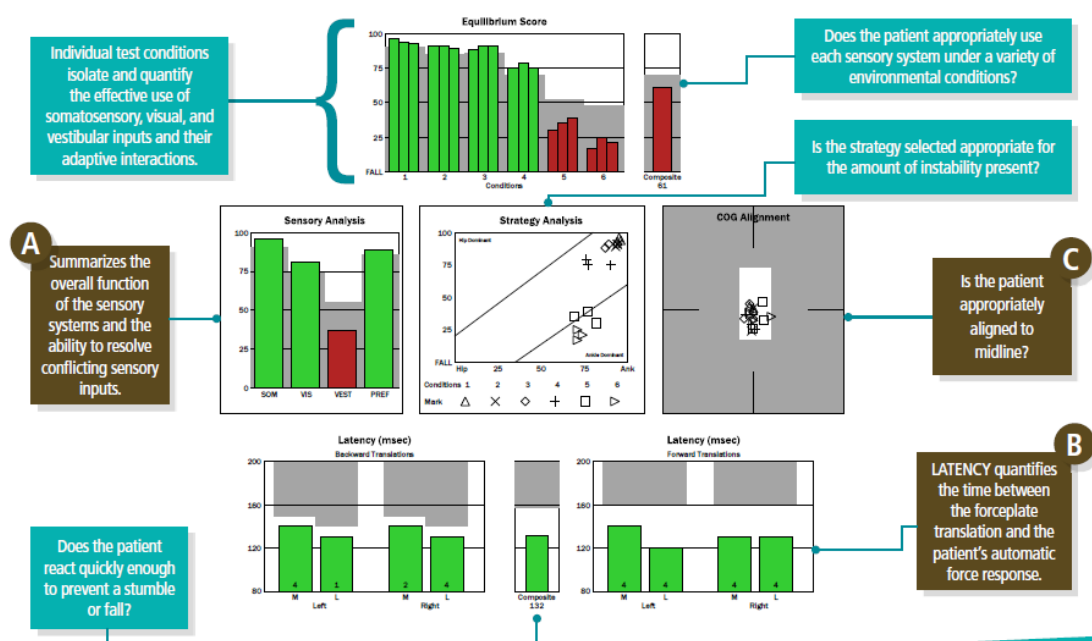
## Dynamická počítačová posturografie (*computerized Dynamic Posturography - CDP*)

Počítačová posturografie je vhodnou elektrofyziologickou vyšetřovací metodou pro hodnocení motorických balančních mechanismů podílejících se na udržování stability lidského těla (Kolář et al., 2009).

Tato metodika je širokospektrálně využitelná u všech jedinců bez ohledu na věk, kondici, či přidružená onemocnění. U daných onemocnění jsou sledovány specifické fenomény ve změně posturální stability a rovnováhy (Jauregui-Renaud et al., 2000).

Během posturografického měření je možné na plošině provádět specifické testy jmenované výše, ale také např. Rombergův test. Tím jsou sledovány reakce pohybového chování a udržování balance díky regulačním mechanismům posturálního systému (Toupet et al., 1994).

*Computerized Dynamic Posturography* umožňuje hodnocení a kvantifikaci sensorických informací a motorických funkcí v posturální kontrole. Propracovaný systém dokáže zpracovat a rozdělit výsledky do přehledných grafů tak, jak to ukazuje obrázek pod textem (viz. Obr. 7) a díky softwaru s naprogramovanými hodnotami a kritérii pro normu dokáže stanovit stupeň balančního deficitu. Dále umožňuje vytvoření vhodného terapeutického plánu ([http://balanceandmobility.com/wp-content/uploads/CDP-Brochure\\_lo-res.pdf](http://balanceandmobility.com/wp-content/uploads/CDP-Brochure_lo-res.pdf)).



Obr.7: Přehled výsledných grafů a informací o funkci posturální kontroly po testování pomocí systému NeuroCom® ([http://balanceandmobility.com/wp-content/uploads/CDP-Brochure\\_lo-res.pdf](http://balanceandmobility.com/wp-content/uploads/CDP-Brochure_lo-res.pdf))

### 2.4.1.3 Posturální Somatooscilografie (pSOG)

Jedná se o posturografickou metodu s využitím plošiny Posturomed a hodnotícího počítačového softwaru Microswing, Matlab a Posturomed Commander, který vyhodnocuje naměřená data.

Rašev vyvinul a zavedl tuto metodu posturografie v devadesátých letech dvacátého století do klinické praxe. „*Posturální somatooscilografie s využitím Posturomedu je od r. 1993 první diagnostickou metodou využívající nový provokační test step/stand na stabilní ploše s definovaným stupněm instability a tlumením kmitů. Pomocí provokačního testu lze provokovat řízení segmentální stabilizace k činnosti na vyšší úrovni a vyšetřovat segmentální stabilizaci motoriky při kráčení (podobně jako při lokomoci), aniž by byla využívána pomocná stabilizace setrvačnosti.*“

Princip hodnocení spočívá ve snímání projekce COP na nestabilní plošinu Posturomed v přesně definovaných situacích ve vertikálním stoju, kterými jsou: 1. provedení tří kroků na místě, 2. zastavení ve stoju na jedné dolní končetině a udržení této pozice po dobu 8 sekund. Rašev též přesně definoval techniku provedení kroku, který musí splňovat následující kritéria:

1. dolní končetina provádějící švihovou fázi kroku se pohybuje vždy vpřed, bérec je ve vertikální pozici směrem k podložce, dolní končetina není krčena pod hýždí
2. dolní končetina se zvedá ve středním postavení v kyčelním a kolenním kloubu
3. chodidlo je ve výšce maximálně 10 – 15 cm od plošiny Posturomed.

Těmito provokačními testy je dle Raševa dosaženo reakce CNS na nově vzniklou situaci, která je náročnější na posturální řízení než obvyklý stoj, proto dochází k tzv. „mobilizaci“ funkčních rezerv a pro zachování posturální stability jsou kladeny vyšší nároky na stabilizaci této polohy (Rašev, 2005).

Při hodnocení je nutné dodržet zároveň danou časovou sekvenci střídání dolních končetin při kráčení na místě a výdrž ve stoju na jedné dolní končetině po dobu 8 sekund.

Celkem vyšetřovaný opakuje krokovou a stojnou fázi desetkrát, každá dolní končetina je hodnocena pětkrát ve stojné fázi.

Nestabilní plošina Posturomed působí na vyšetřovaného mimo jiné dalšími vnějšími silami, na které musí posturální stabilizační systém reagovat. Během hodnocení

v krokové fázi reaguje plošina změnou polohy COP na její plochu zvýšením výchylek, oscilací a vyšetřovaný by měl být schopen v co nejkratším časovém úseku dosáhnout stabilizovaného stoje, a tím oscilace plošiny zmírnit.

Rašev vidí hlavní rozdíl mezi tímto typem posturografie a jinými posturografickými metodami v tom, že během Posturální Somatooscilografie (pSOG) je hodnocena stabilizace lidského těla ve vertikální poloze stoje během dynamického střídání dolních končetin, který je pro toto hodnocení přesně definovaný, a zároveň s nárokem vyrovnat se s výchyly plošiny během dynamického pohybu. *„Zásadní odlišnosti pSOG od statických a dynamických posturografii představují nové posturální situace navozené na ploše Posturomed zavedené roku 1993 Raševem a technika pohybu plochy Posturomed“.*

Hlavním charakteristickým rysem je cílená a definovaná standardizovaná změna těžiště těla aktivním pohybem probanda, tedy vykročení a cílené zastavení, což nebylo dosud v klinických metodách používáno.

Během hodnocení dochází jednak k pohybu plošiny, která je zavěšena na pružinovém systému, a tím se stává nestabilní. Systém posturálního řízení musí tedy reagovat na výchyly, které jsou nestabilní plochou způsobeny, a dále navíc provádět specializovaný, cílený pohyb. Výsledné hodnoty vypovídají o schopnosti stabilizace stoje ve vertikální poloze.

Rašev představil toto hodnocení ve své disertační práci, kde se věnoval hodnocení schopnosti segmentální posturální stabilizace u osob s bolestmi zad a hodnotí toto vyšetření jako vhodný diagnostický nástroj pro zjištění posturálních dysfunkcí (Rašev, 2011).

#### **2.4.1.4 Stabilometrie**

Stabilometrie, neboli posturografie, je metodou pro hodnocení statického stoje, nebo posturální stability člověka při pohybu ve vertikální pozici (Kapteyn et al., 1983). Stabilometrie hodnotí posun, či výchylku COG, nebo COP v závislosti na údajích výrobce. Využívá se k hodnocení balance lidského těla (Takemori et al., 2000).

Mechanické oscilace těžiště lidského těla jsou transformovány do elektrických signálů. Jsou snímány hodnoty frekvence amplitud, střední hodnoty a maxima oscilací,



trvání a rychlost výchylek, vliv sensorických vstupů na rovnovážné funkce, a další. Tyto údaje jsou rychle zpracovatelné a vyhodnocení měření je časově nenáročné. Pro klinickou praxi je velmi výhodné, protože lze ohodnotit větší množství pacientů v relativně krátkém časovém úseku. Výsledný graf se nazývá stabilogram.

Tato měřící technologie se začala rozvíjet již v 70. letech 20. století, kdy však její využití v praxi bylo velmi okrajové (Terekhov, 1976).

V současné době se však jedná téměř o běžnou součást každé rehabilitační kliniky, či neurologického pracoviště a pokrok, který byl zaznamenán ve vývoji stabilometrických systémů a softwarového vybavení, je velmi významný.

Stabilometrie je tedy vyšetření, které analyzuje změny polohy průmětu těžiště celého těla v čase do opěrné plochy, vypovídá o schopnosti celého funkčního komplexu (řídící i výkonové složky) zajistit požadovanou vzpřímenou polohu (<http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/pohyb.php>).

Stabilometrie je někdy považována za část posturografie, někdy jako její ekvivalent (Kapteyn et al., 1983).

## **2.4.2 Diagnostika a hodnocení rovnováhy a stability v otoneurologii**

V současnosti se v otoneurologii užívá k hodnocení vestibulárního systému jako nejdůležitějšího rovnovážného orgánu několik dílčích měření, mezi něž patří elektronystagmografie, kalorizace, či rotační test dle Claussena, ačkoli tomu v minulosti tak nebylo, a k hodnocení funkce vestibulárního aparátu se využívaly pouze balanční funkční testy (Hahn, 2004).

Pro doplnění přehledu možností hodnocení posturální kontroly a rovnováhy jsou představeny i metody z oblasti otoneurologie a equilbrometrie.

### **2.4.2.1 Elektronystagmografie - ENG**

Současná metodika v přístrojovém hodnocení vestibulárního aparátu vychází z hodnocení pohyblivosti očních bulbů pomocí elektronystagmografie, nebo videonystagmografie, integrity polokruhovitých kanálků a vestibulo-korneálního

reflexního oblouku, integrity sacculo-utrikulárního a vestibulárně-korneálního reflexu, zhodnocení vestibulo-spinálních drah a hodnocení multisenzorických vstupů modulujících rovnováhu (zrak, propriocepce – hluboké čítí, funkce vestibulárního aparátu). Výsledky hodnocení slouží nejen k diagnostice nystagmu, ale také k diagnostice závratí a poruch rovnováhy. Součástí vyšetřování vestibulárního aparátu je odebrání anamnézy na základě formuláře NODEC III vypracovaném Claussenem, jež je nedílnou složkou pro správné zhodnocení funkce a kompatibility vestibulárního systému. Další složkou vyšetření je např. audiologické vyšetření (McCaslin et al., 2013).

ENG je přístrojová metodika sloužící ke kvantitativnímu hodnocení vestibulárního aparátu pomocí snímání elektrických impulsů při pohybech očí. Vyhodnocování ENG vychází z práce a diagnostických postupů dle Claussena. Při očních pohybech dochází ke změnám elektrického potenciálu, ten je registrován a vzniká tak elektronystagmogram (Hahn, 2013).

#### **2.4.2.2 Cranio-corporo-grafie - CCG**

CCG zobrazuje pohyby hlavy a ramen jako světelnou stopu a lze tak izolovaně hodnotit pohyby hlavy, či ramen, pozorovat pohyby hlavy ve vztahu k pohybu ramen. Pomocí měřítka také lze hodnotit poruchy pohybu – zde stoje a chůze, v časovém úseku. Při měření se využívá zároveň klinických vestibulo-spinálních testů dle Romberga a zkoušky chůze dle Unterbergera a Fukudy. Při provádění testů dochází k záznamu pohybu na fotografický papír, kde se tak tvoří typické obrázky ukazující na normální nález, či svědčící o periferní, centrální, nebo kombinované poruše. Vyšetření není časově náročné a slouží jako jedno ze základních vyšetření posturální složky rovnovážného ústrojí. Původně bylo vyvinuto v Německu pro vyšetření pracovníků ve výškách (Hahn, 2013).

#### **2.4.2.3 Equilibrometrie**

Obor, nebo metoda hodnocení zabývající se diagnostikou poruch rovnováhy a závratí. Mezi její průkopníky patří německý lékař z oboru otoneurologie Claus Frenz Claussen (Hahn, 2004).

Velká rozmanitost ukazuje na to, jak složité je hodnotit všechny aspekty v řízení rovnováhy a posturální stabilizace zároveň a akceptovat také všechny imputy a informace z vnějšího prostředí, které do řízení rovnováhy vstupují (Véle et al., 2012).

Výsledky měření a objektivizace poruch rovnováhy a posturální stability přinesla ve fyzioterapii velký posun v náhledu na řešení obtíží a umožnila tak volbu vhodné terapie (Kolář et al., 2009).

## **2.5 Vymezení pojmů**

Tato kapitola se věnuje sumarizaci a závěrečnému vymezení definic pojmů, které byly prostudovány ze současné dostupné literatury a následně popsány v kapitolách diplomové práce a úzce se pojí s problematikou posturální stabilizace a rovnováhy. Cílem předloženého vymezení definic není jejich sjednocení, ale možnost poukázat na rozdílnost daných jevů a veličin a také možnost vzbudit zájem i odborné veřejnosti o tuto problematiku a její širší pochopení.

### **2.5.1 Terminologie v dostupné literatuře české i zahraniční**

Terminologie postury, rovnováhy, posturální stabilizace a její kontroly v české a zahraniční dostupné literatuře není jednotná především kvůli rozdílnosti v chápání určitých jevů. Jak již upozorňuje Vařeka, Kolář, Rašev a další autoři, problémem je již základní rozpor v chápání například samotného pojmu „postura“. Výklady dalších odvozených jevů budou tedy zákonitě také v rozporu. Jak podotýká Vařeka, problémem je zřejmě chybné pochopení samotných fyzikálních principů působení těžiště lidského těla v interakci s tíhovou (gravitační) silou, ale také názorový vývoj jednotlivých autorů, kdy například Winter ve svých studiích patrně chybně interpretoval výsledky výzkumu a dle této chyby učinil tvrzení, podle něhož se řídili další autoři. Sám Winter později svou teorii upravil. Rozdílné jsou také interpretace neurofyziologických principů řízení posturální stability a stabilizace (Vařeka, 2002, Wolf, 1996, Véle, 2006).

V dostupné cizojazyčné literatuře oblasti anglo-saské, německé a americké publikační činnosti, se lze setkat s pojmy, které se blíží pojmům českým a dokonce i v původním znění se s některými českými pojmy shodují, jako například *postural control*, nebo *equilibrium*, slovo, které se v češtině ujalo jako „ekvilibrum“, zvláště v oboru otoneurologie, kde k hodnocení rovnováhy a jejích poruch využívají postupů ekvilibrimetrie, mezi jejíž zakladatele patřil i německý lékař Claussen, který se zasloužil o rozvoj tohoto oboru. Dalším příkladem může být stabilita, pro niž lze najít pojem *stability*, který v českém překladu znamená totéž (Hahn, 2013).

Z tohoto příkladu je možné vycítit, jak se terminologie a vysvětlení pojmů může zdát komplikované, ale pokud jsou pochopeny principy pohybu lidského těla a jeho vztahy s okolním prostředím, působením vnějších a vnitřních sil, není třeba se obávat chybného pochopení.

V anglicky publikované literatuře se lze setkat s různými kombinacemi a složenými výrazy pojmů, jako např.: *postural balance*, *postural balance training*, *postural equilibrium*, a další.

### **2.5.1.1 Postura - Posture**

*Posture* v překladu do češtiny „zaujetí nastavení“ jednotlivých segmentů těla a udržení tohoto nastavení s ohledem a vztahem k vnějšímu a vnitřnímu prostředí. Většina autorů se shoduje na tom, že postura je aktivní uspořádání segmentů těla proti působení vnějších sil, nejenom síly tíhové, ale také sil, které vznikají např. při působení tlaku ruky do předmětu. Postura je popisována jako aktivní proces, kde řídicí mechanismy kontinuálně testují požadavky na stabilitu prostřednictvím feed-back a feed-forward mechanismů, díky nimž dochází k takové úpravě nastavení pozice těla, aby vyhovovala vnějším i vnitřním podmínkám. Feed-back feed-forward mechanismy reagují na základě přicházejících informací ze třech hlavních sensorických vstupů (vestibulární, vizuální, proprioceptivní). Na nejvyšší úrovni ji lze pozorovat právě u baletních mistrů, či tanečnicků. Pokud tomu tak není, hovoří se o poruše posturální kontroly (Hadders-Algra et al., 2008, Kolář, 2009, Vařeka, 2002, Vele 2006).

Postura je rovnovážný stav, který předjímá další pohybové chování. Obsahuje v sobě „neorientovanou posturu“ – rovnovážný klidový stav bez úmyslu pohybu, dále „stand by režim“ – stav zvýšené připravenosti pro zajištění pohybu (nastavení svalového

tonu), a „atitudu“ – orientovanou posturu, která je výchozím nastavením pro pohyb (Véle, 2006).

V anglické literatuře se používá pojem *postural control*. Lze najít i *posture control*, v českém překladu posturální kontrola, jež je nezbytná pro fungování v běžném denním životě. Je zřejmé, že vynikající posturální kontrolu mají především tanečníci, či primabaleríny, ta jim umožňuje vytvoření dokonalého pohybového projevu a koordinačně náročné pohybové sestavy. Špatná posturální kontrola vede ke snížené motorické koordinaci a negativně ovlivňuje funkci neuromuskulární soustavy, která se projevuje ve svých důsledcích na kvalitě běžného denního života. Lze si toto slovní spojení tedy vysvětlit jako kontrolu postury, tedy nastavení a udržování pozice lidského těla v prostoru díky složitým koordinačním a anticipačním mechanismům a řídicím procesům.

V současnosti je jasné, že kontrola postury není jednoduchou záležitostí reflexních reakcí. Posturální kontrola je ovlivňována komplexně všemi vstupními informacemi, které mají vliv na posturální řízení – centrální nervový systém, svalový tonus, vestibulární a vizuální informace, propiocepce a další somatosenzorické vstupy včetně kvality jejich zpracování, emoční stav, vliv únavy, a další. Cílem posturální kontroly je formování vzájemných vztahů mezi percepcí a akcí. Posturální kontrola je velmi složitý proces, který se vyvíjí až do období dospělosti. Tato komplexnost a složitost posturálního systému ho dělá zranitelnějším vzhledem k nepříznivým podmínkám a vlivům během celého života (Hadders-Algra et al., 2008).

Véle upozorňuje na významnou roli anticipace pohybu v posturální kontrole, kdy díky informacím ze zevního a vnitřního prostředí je možné odhadovat pohyb pro nejbližší okamžiky dopředu (Véle, 2006).

Dále je možné se v literatuře setkat s pojmem *postural sway*, který je označován jako „posturální výchylky“, které mohou být zapříčiněny vnějšími vlivy, ale také vnitřními silami, při dynamickém vyvažování, balancování (Watanuki et al., 2000).

### **2.5.1.2 Posturální stabilita – *Postural Stability***

Posturální stabilita je dle Vařeky schopnost zajistit vzpřímené držení těla tak, aby nedošlo k nezamýšlenému, nebo nekoordinovanému pádu. Tento pojem se vztahuje právě k vertikální vzpřímené poloze člověka. Principiálně se uvažuje o poloze těžiště a COP/COG, a pokud segmenty lidského těla jsou nastaveny tak, aby se jejich dílčí těžiště

skutečně nacházela nad opěrnou bází, pak je člověk schopen udržet se v rovnováze, ve stabilní rovnovážné pozici (Vařeka, 2002).

Véle však odlišuje při diferenciaci posturální stability i další její složky – klidovou polohu těla – neorientovanou posturu, při úmyslu udělat pohyb se změni nastavení do tzv. „pohotovostního režimu“ – *stand by*, který přechází těně před pohybem do orientované postury, atitudy, ze které pohyb přímo vychází (Véle, 2006).

Jak již bylo zmíněno v biomechanické části, stabilita je stav vyjádřený mírou rovnováhy. Proto pro určování posturální stability, tedy stability lidského těla ve vzpřímené poloze, je hodnocena míra rovnováhy, např. na tlakové plošině, stabilometru, aj., kdy je sledován posun COP, či COG v čase a poměr celkových výchylek na vzniklém grafu. Posturální stabilita je pojem vztahující se na okamžik, který nelze hodnotit bez znalosti stavu před a poté (Hirvonen et al., 2000).

### 2.5.1.3 Posturální stabilizace – *Postural stabilization*

Pro porovnání pojmů posturální stabilita a posturální stabilizace lze zvolit následující definice:

**Statická stabilita** se nejvíce blíží k pojmu **rovnováha** bez pozorovatelného pohybu. Z fyzikálního hlediska jde o děj ukončený, statický. Avšak z hlediska neurofyzilogického tento proces neustále probíhá.

**Dynamickou stabilitu** lze přiřadit k **posturální stabilizaci**. V obou případech se jedná o proces, děj nedokončený. Tyto děje nelze zaměňovat. Zdá se, že pod pojmem dynamická stabilita jsou v současné literatuře chápány dva odlišné stavy:

1) náhlá změna opěrné plochy – naklopení stojné roviny, změna polohy stojné plochy a tím změna polohy těžiště těla vlivem zevní příčiny.

2) změna těžiště těla vlivem pohybů segmentů těla, např. pohyb horní, nebo dolní končetiny, hlavy, trupu, při nárocích na udržení rovnovážné polohy.

Posturální stabilizace slouží vždy cílenosti pohybu a zahrnuje v sobě řízení rovnováhy. Rovnováha je statickou komponentou posturální stabilizace.

#### **2.5.1.4 Rovnováha – *Equilibrium***

Pojem *equilibrium* lze najít již mezi základními biomechanickými pojmy, kde v překladu do češtiny znamená „rovnováha“ a uvedené výpočetní vzorce odpovídají všeobecně platným fyzikálním vzorcům pro výpočet rovnováhy. I v dalších zdrojích je pojem *equilibrium* užíván ve smyslu rovnováha, např. publikace „*Postural control: A Key Issue in Developmental disorders*“. Jak se prolínají jednotlivé obory, které jeden z druhého čerpají, příkladem je kineziologie a biomechanika, tak se také přebírá i terminologie (Janura, Míková, 2003).

Slovo *equilibrium* je též používáno ve smyslu rovnováha - balance ve studiích zaměřujících se na kvantifikaci rovnováhy posturografickými metodami, např. ve studii vedené Lindgrenem (Lindgren et al., 2000).

V zahraniční literatuře se lze setkat i s pojmem *dysequilibrium*, antonymum ke slovu *equilibrium*, ve smyslu porušení rovnováhy. Lze také najít slovní spojení *postural equilibrium* ve vztahu k rovnováze lidského těla (Hastings et al., 2000, Öztürk et al., 2015).

#### **2.5.1.5 Balance - *Balance***

Véle vysvětluje pojem „balance“ jako neustálé vyvažování, tedy proces. V češtině se užívá též slovesa „vybalancovat“, ve smyslu udržet rovnovážnou pozici a zabránit tak pádu. V další české literatuře je pojem „balance“, nebo v anglické literatuře též *postural balance*, slovo podobného významu jako stabilita nebo rovnováha.

V literatuře se lze vyhledat i slovní spojení jako jsou *balance control*, *balance training*.

## **3 Metodologie práce**

Diplomová práce metodologicky odpovídá teoretickému typu práce - řešeršní práce. V následujících kapitolách je popsán cíl práce, vědecké otázky, kritéria pro vyhledávání literárních zdrojů a postup řešení řešerše.

### **3.1 Cíle práce**

Cílem práce je především podat ucelený přehled problematiky terminologie posturální stabilizace a rovnováhy. Jak je terminologie chápána a interpretována v praxi, je předmětem deskriptivně - analytické části.

Cílem deskriptivně - analytické části práce je podat přehled nejčastěji používaných přístrojových měřících metod k hodnocení posturální stability a posturální stabilizace a zjistit, zda studie předkládá definici vybraných hodnocených posturografických parametrů a zda definuje sledované ukazatele posturální kontroly.

### **3.2 Vědecké otázky**

Diplomová práce si pokládá dvě základní otázky:

1. Jaké jsou nejčastěji používané přístrojové měřící postupy pro objektivní zhodnocení posturální stabilizace a rovnováhy a jak se odlišují?
2. Předkládá studie definici vybraných hodnocených posturografických parametrů a definuje, jaký ukazatel posturální stability a posturální kontroly je ve studii hodnocen?

### **3.3 Kritéria pro výběr studií**

Přehled kritérií, dle kterých byly studie vyhledávány, je následující:

- a) klíčová slova a jejich kombinace: posturální stabilizace, posturální stabilita, rovnováha, balance, stabilita statická, stabilita dynamická, posturální řízení, hodnocení rovnováhy, hodnocení posturální stability, posturální dysfunkce,



posturografie, stabilometrie, postural stability, posturography, equilibrium, posture control, Posturale Stabilität, Gleichgewicht.

b) studie s úrovní důkazů odpovídající stupním 1a, 1b, 2a, dle pyramidy důkazů – viz obr. 8.

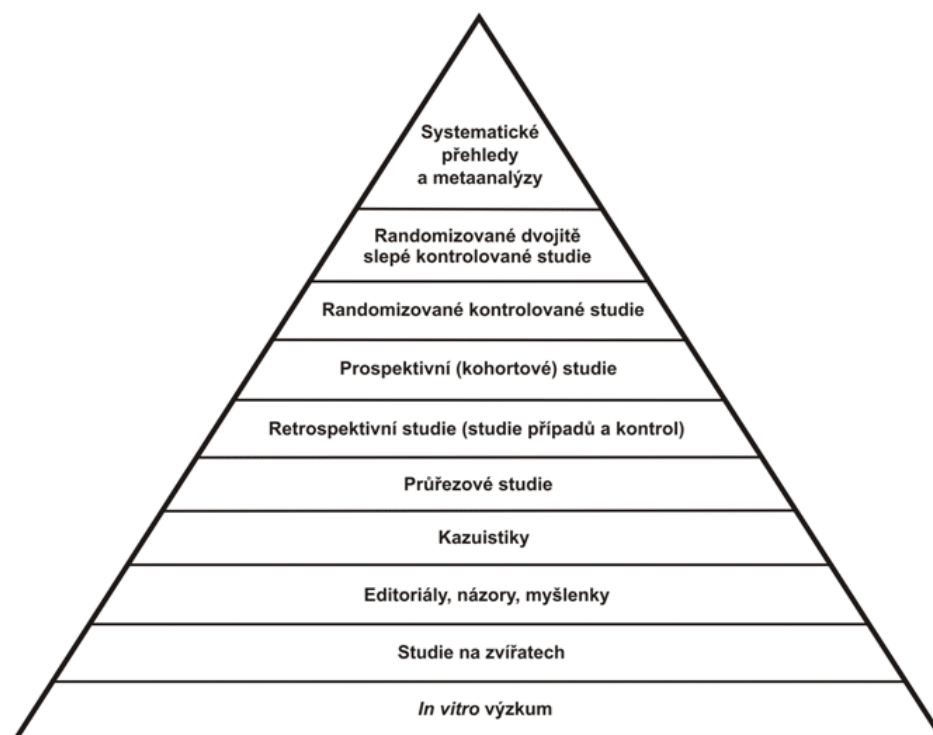
c) vyhledávání studií v mezinárodních internetových databázích: Ovid, Medline, Cinahl, Pedro, Cochrane Library, Pubmed, Ebsco.

d) vymezení časového období publikování studií od roku 2006 do současnosti

f) jazyk studie: angličtina, čeština, němčina, studie přeložené z jiného jazyka do jazyků uvedených.

g) studie či článek vyhledaný pro řešerši splňuje další specifika:

- skupina diagnóz odpovídá muskuloskeletálním poruchám
- skupina diagnóz odpovídá neurologickým onemocněním
- skupina diagnóz s poruchou vestibulárního aparátu
- vzorek populace muži i ženy ve věkovém rozmezí 18 a více let.
- k hodnocení funkčních poruch rovnováhy a posturální stabilizace je použito přístrojové posturografie



Obr. 8: Pyramida důkazů EBM studií (<https://www.mojemedicina.cz/pro-lekare/leciva/evidence-based-medicine/teorie-a-zdroje-pro-evidence-based-medicine/>)

Na obrázku č. 8 lze vidět rozdělení studií dle stupně evidence. V nejvyšší části „Pyramidy důkazů“ se nachází studie nejvyšší evidence a kvality. Naopak v nižších patrech pyramidy jsou studie, které vykazují i nižší stupeň evidence.

### **3.4 Limity diplomové práce**

Je třeba uvést i limity, které ve svých výsledcích mohla diplomová práce přinést, a tím mohlo být ovlivněno zachování objektivity výsledků.

Limity práce:

- a) jiná situace ve studiích publikovaných v jazycích, kterými autor diplomové práce nevládne
- b) odlišné přístupy v jiných oblastech výzkumu, než které jsou definovány kritérii pro výběr studií
- c) situace v dalších oborech bádání, které se zabývají touto terminologií a nejsou začleněny do rešerše

### **3.5 Řešení práce a zpracování výsledků**

Vybrané studie budou rozebrány v kapitole „Výsledky“ a následně rozděleny do tabulek chronologicky podle data vydání. Rozbor studií bude zaměřen především na výběr posturografické metody a definice hodnocených posturografických parametrů, které studie k měření posturální stability použila. Stručně bude popsán obsah studie a její výsledky. V tabulkách bude dále uveden typ vybraného posturografického systému, účel využití posturografie, u jaké skupiny probandů byla posturografická metoda aplikována a jaké parametry byly v rámci posturografického měření sledovány.

## 4 Výsledky

Celkový počet vyhledaných studií podle zadaných požadavků byl 104, z nichž pouze 12 jich vyhovovalo stanoveným kritériím. Zbylých 92 studií nemohlo být do výsledného zpracování zařazeno z důvodu nízkého stupně evidence, nebo staršího data publikování. Studie byly vyřazeny, pokud se věnovali hodnocení posturální stability u osob, které kromě základní diagnózy trpěli dalšími přidruženými onemocněními (např. diabetes mellitus, polyneuropatie, malignity, aj.), či sníženými kognitivními funkcemi. Dále nebyly použity studie, které hodnotily posturální stabilitu klinickými testy a studie, které byly publikovány v jiných jazycích než angličtina, němčina, nebo čeština. Studie, u kterých nebylo možné získání plného znění textu, byly taktéž vyřazeny.

Vyhledané studie se věnují hodnocení posturální stability a rovnováhy u poruch muskuloskeletálních – celkem 6 studií, z nichž je 1 systematická review, 3 kontrolované randomizované studie a 2 klinické randomizované studie, u neurologických onemocnění – celkem 4 studií, z nichž jsou 3 kontrolované randomizované studie a 1 klinická randomizovaná studie, a u poruch vestibulárních – celkem 2 studie, z nichž je 1 kontrolovaná randomizovaná studie a 1 předběžná randomizovaná studie.

Studie jsou členěny do kapitol rozdělených podle toho, u jaké skupiny poruch je posturální stabilita hodnocena. Studie jsou uvedeny v chronologickém sledu podle data publikování, s výjimkou systematických review, které jsou vždy řazeny jako první, dále pak následují randomizované kontrolní studie a randomizované klinické studie.

U studií se rozbor jejich obsahu zaměřuje především na použitou posturografickou metodu u konkrétní skupiny diagnóz, účel posturografie, typ vybraných posturografických parametrů, zvolený test a testovací protokol a zda studie definuje, jaká složka posturální kontroly je hodnocena.

### 4.1 Posturografické metody pro hodnocení posturální stability a posturální kontroly u muskuloskeletálních poruch

Systematická review **Lawsona et al. (2015)** měla za cíl sumarizovat dostupná data o hodnocení balančních schopností vzpřímeného stoje a dostupné biomechanické testovací metody u populace s osteoartrózou kolenního kloubu pro možnost objektivizace

posturografických kritérií při hodnocení posturální kontroly u této skupiny osob. Podnětem pro vytvoření této systematické review bylo zjištění, že v současnosti neexistují žádné souhrnné studie o hodnocení posturální kontroly u pacientů s osteoartrózou kolenního kloubu. Dalším důvodem byl fakt, že pacienti s gonartrózou mají sníženou schopnost posturální kontroly a jsou ohroženi zvýšeným rizikem pádů (Garstang, Stitik, 2006). Ačkoli je běžně pojednáváno o posturální kontrole u pacientů s gonartrózou, není v dostupné literatuře k dispozici žádný souhrnný dokument posturografických dat u pacientů s gonartrózou. Autoři systematické review předpokládají, že dostupnost souhrnu těchto dat by ulehčilo budoucím studiím dosáhnout lepších výsledků posturografického hodnocení osob s gonartrózou a snažší identifikaci specifického faktoru snímaného u této skupiny osob, např. specifický aspekt COP.

Celkově odpovídalo zadaným kritériím 21 vyhledaných studií s vysokým stupněm kvality podle koeficientu *Cohen's kappa*.

**Podmínky hodnocení na posturografické platformě:** Celkem 14 studií z vybraného vzorku měřilo parametry COP na platformě fixované k podlaze během 6-ti rozdílných situací. 8 studií hodnotilo stoj na obou dolních končetinách (DK) s otevřenými očima na pevném povrchu, 1 studie hodnotila stoj na obou DK při otevřených očích na měkkém povrchu, 4 studie testovaly stoj na obou DK se zavřenými očima na pevném povrchu, 1 studie stoj na obou DK se zavřenými očima na měkkém povrchu, 8 studií hodnotilo zároveň stoj na jedné DK s otevřenými očima na pevném povrchu a 1 studie stoj na jedné DK s otevřenými očima na měkkém povrchu. 3 studie ze vzorku studií hodnotící stoj na dvou DK dále specifikovaly testované podmínky s upřesněním, že při stoji na obou DK jsou paty spojené u sebe a 1 ze studií hodnotila stoj na posturografické plošině s obutými botami. Čas, během kterého probíhalo snímání COP, byl buď 30 sekund, nebo 50 sekund.

**Hodnocení parametrů trajektorie COP v anteroposteriorním a mediolaterálním směru:** 8 studií hodnotilo data celkové trajektorie vykonané bodem COP. Nejvíce se hodnoty získané z měření na pevném povrchu pohybovaly mezi 303 až 719,2 mm vykonané dráhy bodem COP během doby snímání přes 10 sekund a frekvencí snímání 60 Hz, ačkoli 1 studie udává daleko nižší hodnotu dráhy – 53,13 mm délky dráhy během doby testování 20 sekund a frekvence 1440 Hz. Při měření na platformě s měkkým povrchem 1 studie zjistila průměrnou dráhu trajektorie bodu COP o délce 894,3 mm, další studie udávají hodnoty v rozmezí od 629 – 638 mm získané v průběhu

měření dvou testovacích jednotek. Střední hodnoty naměřené na platformě s pevným povrchem se pohybovali v rozmezí 260,6 – 393,2 mm během doby testování 30 sekund. 1 studie se zabývala měřením COP na platformě s pevným povrchem u probandů s gonartrózou během různé denní doby a zjistila signifikantní pokles délky a výchylek trajektorie COP získaných při testování v odpoledních hodinách (355,7 mm) v porovnání s testováním v ranních hodinách (393,22 mm).

**Hodnocení velikosti plochy, ve které se nacházel bod COP:** Metody hodnocení plochy COP se liší. Mnoho metod hodnotí např. plochu pro výpočet elipsy. Detailní popis metod není k dispozici. Studie hodnotí plochu COP za dalších kritérií – rozdělení skupiny probandů podle pohlaví (ženy, muži), hodnocení plochy COP v různé denní době – porovnání získaných dat během měření ráno a odpoledne, porovnávání plochy COP u probandů s gonartrózou s hodnotami získanými u kontrolní skupiny zdravých probandů. Více než výpočtem plochy COP, se studie zabývají porovnáním získaných dat.

**Hodnocení rozsahu výchylek v anteroposteriorním (AP) a mediolaterálním (ML) směru:** studie nejvíce hodnotily rozdíly mezi maximem pozitivních a negativních hodnot výchylek v AP a ML osách. 5 studií se zabývalo hodnotami rozsahu výchylek COP v AP směru. 3 z těchto 5-ti studií využily pro hodnocení měkký povrch s výsledkem výchylek 27,9 – 42,5 mm. Další studie hodnotily rozdíl v hodnotách výchylek v AP ose při měření ve stoji na dolních končetinách u pacientů s gonartrózou a u zdravé kontroly. 5 studií se zabývalo hodnocením rozsahu výchylek v ML ose.

Dále se ve studiích hodnotil parametr průměrné rychlosti (celkem 8 studií), standardní hodnota deviace COP v AP a ML směru, rychlost výchylek COP v AP a ML směru.

**Použité posturografické zařízení a podmínky testování:** Studie využily k hodnocení nejčastěji zařízení *Biodex Stability System* (BSS) pro určení stupně stability (level 1 = nejméně stabilní, level 12 = nejvíce stabilní) a další silové platformy. Hodnoty indexu stability, *Stability Index*, byly vypočítány z dat získaných ze snímání podél AP a ML osy. 5 studií prezentovalo BSS data, 2 studie hodnotili stoj pomocí indexu stability. Všechny studie shodně hodnotili stoj na dvou dolních končetinách na pevném i měkkém povrchu během doby měření 20 nebo 30 sekund. 1 studie navíc hodnotila, zda bude mít vliv na naměřená data stoj s chodidly od sebe a stoj spatný. 1 studie vůbec nedefinovala, zda je měření prováděno na pevném, nebo měkkém/ pohyblivém povrchu.

Výsledkem systematické review je shrnutí 12 – ti nejčastěji zaskaných výsledků měření používaných u studií střední až vysoké metodologické kvality. Byla zjištěna velká nejednotnost testovacích metod a podmínek (obtížnost, délka testování, průběh testování, výchozí nastavení a podmínky). Kvůli nedostatku dostupných publikovaných dat nebylo možné studii provést v rozsahu metaanalýzy. Výsledkem bylo zjištění, že se velmi často ve studiích nebere ohled na použitou metodu měření, a chybí definování použité platformy – zda se jedná o pevně ukotvenou podlahovou platformu, pohyblivou platformu, nebo je využito zařízení BSS.

Nejčastěji jsou ve studiích použita data o délce trajektorie bodu COP a jeho rychlost pro hodnocení balančních schopností u pacientů s gonartrózou. Odlišnost a velká variabilita byla zjištěna u výběru posturální pozice – stoj na 2 DK s otevřenými očima, stoj se zavřenými očima, nebo stoj na 1 DK na rozdílném povrchu platformy. Jako standardizovaná pozice byl nejčastěji vybrán stoj na 2 DK, z důvodu vyšší obtížnosti stoje na 1 DK, který se projevuje i na vyšších naměřených hodnotách v podmínkách stoje na 1 DK, měkkém povrchu a otevřených očích. Žádná studie neudávala hodnocení ve stoje na 1 DK se zavřenými očima. Ačkoli je definováno kolem 20 parametrů COP, které je možné snímat na posturografických platformách, v minimálně 3 studiích chyběl popis a upřesnění snímaných dat bodu COP. Velký rozpor byl nalezen v měřících metodách a průběhu měření, např. frekvence testování a délka pokusu. Délka testovacího pokusu se pohybovala od 4 do 50 sekund u stoje na 2 DK, a přibližně 10 sekund při stoje na 1 DK. Testovací frekvence se pohybovala od 20 do 1440 Hz, kdy vyšší frekvence vedly i k větším délkám trajektorie COP.

Tato systematická review přinesla důležité poznatky a podklady pro měření posturální kontroly u pacientů s gonartrózou pro budoucí výzkum. Review dále podává zjištění o velké heterogenitě a nejednotnosti v testovacích posturografických metodách u pacientů s gonartrózou.

Randomizovaná kontrolovaná studie autorů **Patti et al. (2016)** zkoumala stabilometrické parametry u jedinců s chronickými bolestmi dolní části zad, tzv. *Low Back Pain*, a jejich vývoj během 14-ti týdenního cvičebního programu Pilates. Celkem se studie účastnilo 38 probandů, rozdělených do skupiny v Pilates programu a kontrolní skupiny, každá po 19-ti členech. Pro svůj výzkum studie použila posturografický systém

FreeMed posturography system, včetně FreeMed baropodometrické platformy a software FreeStep v.1.0.3. Definovaná snímaná pozice byla ve standardní poloze dle Rombergova testu: stoj s chodidly vedle sebe a s patami svírajícími úhel 30° a vzdálenými 4 cm od sebe. Nastavení frekvencí snímání bylo 400 Hz. Hodnotila se Rombergova pozice s otevřenými očima během prvního pokusu a se zavřenými očima během pokusu druhého. Byly analyzovány údaje z posturografického záznamu jako délka výchylek COP, celková plocha opsaná bodem COP, výchylky bodu COP podél frontální a sagitální linie.

Vzhledem k vysoké výpovědní hodnotě dat získaných posturografickým měřením, autoři studie doporučují posturografii jako vhodnou metodu k hodnocení posturální stability u osob s nespecifickými bolestmi dolní části zad. Navrhují též zařazení posturografie mezi rutinní vyšetřovací pro její objektivitu a citlivost testování. Studie došla k výsledkům, které ukazují na zlepšení posturografických dat u jedinců, kteří pravidelně cvičili vybrané cviky programu Pilates.

Randomizovaná studie **Mettlera et al. (2015)** sledovala vývoj změny polohy COP v závislosti na balančním tréninku u osob s chronickou instabilitou hlezenního kloubu. Ve studii je stručně definován pojem posturální kontroly a způsob hodnocení COP. Posturální kontrola je zde popsána jako proces vyžadující integritu a spolupráci systémů vizuálního, vestibulárního a somatosenzorického. Somatosenzorický systém čerpá informace z kožních, kloubních a šlachových receptorů. Právě tento systém je narušen u osob s chronickou instabilitou hlezenního kloubu a lze u nich najít deficit v mechanismech posturální kontroly.

Studie probíhala v laboratorních podmínkách s celkovým počtem 31 účastníků s chronickou instabilitou hlezenního kloubu, kteří byly rozděleni do 2 skupin – skupina v terapii balančním tréninkem a kontrolní skupina. Balanční trénink absolvovali účastníci po dobu 4 týdnů. Měření posturální kontroly probíhalo před a po balančním tréninku na *AccuSway force platform* - tenzometrické silové platformě systému AMTI (AMTI Corp, Watertown, MA). Snímána byla poloha COP působícího na podložku při klidném statickém stoji. Na platformě byla vyznačena mřížka pro označení přesné polohy chodidla mezi jednotlivými pokusy. Translační síly a momenty těchto sil byly nastaveny na 50 Hz, produkující sérii 500 dat polohy bodu COP během 10 sekund trvajícího pokusu. Střed chodidla byl rozdělen mřížkou na anteroposteriorní a mediolaterální osy. Pro měření byly

definovány 3 situace: stoj na 2 DK s otevřenými a zavřenými očima bez obuvi, stoj na 1 DK pro obě strany. Hodnoceny byly 3 úspěšné pokusy. Byla určena i pozice paží, které byly překříženy a položeny na hrudníku. netestovaná DK při stoji na 1 DK byla ve flexi 45° v kolenním a 30° v kyčelním kloubu. Zpracování dat probíhalo pomocí Balance Clinic Software a softwarovým programem MATLAB. Zkoumána byla data o posunech COP v rámci plochy chodidla, které bylo rozděleno do 4 čtverců – anterolaterální, anteromediální, posterolaterální, a posteromediální.

Výsledkem studie bylo zjištění, že u skupiny pacientů s chronickou instabilitou v hlezenním kloubu došlo po balančním tréninku k posunutí polohy COP z anterolaterální plochy chodidla postero-laterálně.

Randomizovaná studie **Reida et al. (2014)** se věnovala efektu manuální terapie u diagnózy cervikogenních závratí. U pacientů s touto diagnózou je prokázán deficit balančních funkcí. Studie zkoumala vliv manuální terapie na balanční funkce, rozsah pohybu v krční páteři a polohu hlavy. Celkem pacienti absolvovali 6 manuálních terapií, po kterých byla hodnocena posturální stabilita. Pro měření balančních funkcí byl využit Chattecx Balance Dynamic System. Posturografický systém Chattecx vytváří index výchylek (cm), který reflektuje data o poloze „*center of balace*“ vyšetřované osoby a měří posturální výchylky. Index výchylek, tzv. *Sway index* definovaný systémem Chattecx, je analyzován během měření statického stoje v následujících situacích: s hlavou v neutrální pozici s otevřenými očima, s hlavou v neutrální pozici se zavřenými očima, s extendovanou krční páteří, s rotací hlavy vpravo a rotací hlavy vlevo, a poté měření statického stoje na pohyblivé platformě s neutrální pozicí hlavy a očima otevřenými. Celkem se studie účastnilo 86 probandů rozdělených do skupiny v manuální terapii a kontrolní skupiny.

Data získaná posturografickým systémem Chattecx nepotvrdila zlepšení balance u skupiny pacientů, kteří absolvovaly manuální terapii. Autoři studie však odhalili při podrobné analýze dat rozdíly indexu výchylek u pacientů, kteří v minulosti prodělali trauma krční páteře (.72 cm), a mezi pacienty bez údajů o traumatu krční páteře v anamnéze (.59cm). Ve studii byly použity především statické testy posturální stability. Studie vzhledem k výsledku odkazuje na další studie, ve kterých je balance hodnocena



pomocí dynamických testů stability, jež jsou pokládány za signifikantnější pro jejich větší citlivost.

Randomizovaná studie **Palma et al. (2012)** zkoumala vliv elastických funkčních kolenních ortéz na posturální kontrolu u pacientů s rupturou předního zkříženého vazů kolenního kloubu. Pro měření posturální stability bylo využito počítačové dynamické posturografie (*computerized dynamic posturography*) a získaná data byla porovnávána s hodnotami tzv. *Overall stability index* (OSI). Důvodem pro vytvoření studie bylo zjištění, že ačkoli elastické kolenní ortézy nezvětšují mechanickou stabilitu kolenního kloubu, pacienti přesto udávali lepší stabilitu během jejího nošení. Hodnocena byla jak poraněná DK s ortézou a bez ortézy, tak zdravá DK.

Posturální stabilita byla hodnocena systémem Biodex Stability System<sup>®</sup> (BSS), který by měl být spolehlivým nástrojem pro testy dynamické posturografie. BSS je vybaven nestabilní platformou s možností naklopení až 20°. Systém je propojen s počítačovým programem, který zaznamenává data snímaná pro výpočet medio-laterálního (MLSI), antero-posteriorního (APSI) a celkového indexu stability (*overall stability index* = OSI). Vysoký index stability znamená nízkou stabilitu, nízký naopak stabilní pozici. Celkem se studii účastnilo 58 probandů s rupturou LCA. Během testování byl zakryt monitor ukazující pozici COP, aby se vyloučil vizuální feedback. Použity byly elastické ortézy výhradně typu StabuloGen<sup>®</sup> Eco knee brace. Byly definovány následující podmínky pozice pro stoj na plošině: stoj na boso, bez obuvi, vždy jedno chodidlo bylo situováno do středu platformy a tato pozice se neměla měnit po dobu testování. Nestabilní plošina vykazovala podmínky stupně 8 indexu stability (nestabilní situace). Každý pokus probíhal po dobu 20 sekund vždy s otevřenými očima. Každý proband absolvoval 3 pokusy po 20 sekundách.

Výsledek studie potvrdil pozitivní vliv elastických kolenních ortéz na posturální kontrolu a tím i zlepšení stability lidského těla díky ovlivnění neuromuskulárních vstupů a zlepšení aference z kloubních receptorů. Bylo prokázáno, že elastické kolenní ortézy podporují svalovou kontrakci a tím i funkční stabilizaci kolenního kloubu.

Randomizovaná studie **Chyue et al. (2010)** zjišťovala efekt cvičení tai chi na fyzické zdraví postmenopausálních žen s osteopenií (celkem 61). Studie byla vedena po

dobu 24 týdnů, kdy ženy zařazené do sledované skupiny cvičily tai chi (celkem 30). Posturografické měření proběhlo ve 12. týdnu a poté ve 24. týdnu. Jedním z parametrů bylo měření balančních schopností. K jejich hodnocení byla použita dynamická posturografie (*computerized dynamic posturography*) s využitím systému NeuroCom SMART EquiTest. Byla hodnocena statická i dynamická stabilita stoje s využitím testovacích protokolů Sensory Organization Test, Motor Control Test, a Adaptation Test, které mají za cíl ověřit schopnost udržení stabilní pozice během rozdílných situací, výchylek a zevních rušivých vlivů. Ve studii jsou detailně popsány jednotlivé testy a jejich zaměření s ohledem na testovanou složku posturálního řízení. Kromě testů stability, byla hodnocena také chůze a další testy motorické koordinace.

Studie došla k závěru, že cvičení tai ji má pozitivní vliv na zdraví, avšak nebylo signifikantně prokázáno zlepšení posturální stability.

**Tab. 1: Posturografie u muskuloskeletálních poruch**

| Studie, účastníci, diagnóza                                | Posturografický systém                   | Účel využití posturografie                           | Definice výchozích podmínek stoje                       | Sledovaná data/ Testovací protokol   | Závěr  |
|--|--|--|---|--|--|
| Lawson et al. (2015); Kanada<br>1321 účastníků: gonartróza | BSS, další nedefinované silové platformy | Hodnocení balančních schopností u osob s gonartrózou | Různé   | Snímání vlastností COP: rychlost, délka trajektorie, plocha, výchylky v osách AP, ML | Heterogenita v použitých metodách a nejednotnost sledovaných dat u hodnocení stejné skupiny diagnóz            |
| Patti et al. (2016); Itálie, 38 účastníků: chronické LBP   | FreeMed posturography system             | Zjistit vliv cvičení Pilates na posturální stabilitu | Statický stoj s definovanou pozicí chodidel             | Rombergův test s EO a EC   | Doporučení začlenit posturografii mezi rutinní vyšetřovací metody u pacientů s LBP, zlepšení balančních funkcí |
| Mettler et al. (2015); NY, USA<br>31 účastníků: CAI        | AccuSway force platform, AMTI Corp.      | Zjištění prostorové lokace COP bodu                  | Statický stoj ve 3 situacích: 2 DK EO, 2 DK EC, 1 DK EO | Poloha COP v antero-posteriorních a medio-laterálních osách                          | Balanční trénink působí na změnu polohy COP u osob s CAI   |

|  |                                 |   |   |  |  |
|--|---------------------------------|---|---|--|--|
| Reid et al. (2014); Austrálie 86 účastníků: cervikogenní závratě | Chattecx Balance Dynamic System | Zhodnocení vlivu manuální terapie na balanční funkce                  | Statický stoj s definovanou pozicí hlavy a krční páteře               | Index výchylek COB, test statické stability      | Žádná signifikantní data   |
| Palm et al. (2012); Německo 58 účastníků: ruptura LCA            | BSS                             | Zjištění vlivu elastické kolenní ortézy na posturální stabilitu       | Statický stoj na boso, 1 chodidlo vždy ve středu nestabilní platformy | Standardizované indexy stability APSI, MLSI, OSI | Prokazatelné zlepšení stability při použití elastické kolenní ortézy |
| Chyu et al. (2010); Texas, USA 61 účastnic: Osteoporóza          | SMART EquiTest, NeuroCom        | Efekt cvičení Tai chi na balanční schopnosti u postmenopauzálních žen | Statický a dynamický stoj dle podmínek SOT, MCT, AT                   | SOT, MCT, AT                                     | Nejsou signifikantní výsledky pro zlepšení balančních schopností     |

BSS = Biodex Stability System, COP= Center Of Pressure, CAI = Chronic Ankle Instability, EO = Eyes Open (otevřené oči), EC= Eyes Closed (zavřené oči), DK = dolní končetiny, LCA = Ligamentum cruciatum anterius, APSI = anterior-posterior stability index, MLSI = medial-lateral stability index, OSI = overall stability index, SOT = Sensory Organization Test, MCT = Motor Control Test, AT = Adaptation Test, LBP = Low Back Pain

## 4.2 Posturografické metody pro hodnocení posturální stability a posturální kontroly u neurologických onemocnění

Randomizovaná kontrolovaná studie **Hunga et al. (2014)** sledovala efekt terapie s využitím prvků virtuální reality – Nintendo Wii Fit v porovnání s konvenční terapií u pacientů v chronickém stádiu po iktu a jejich vliv na balanční funkce. K hodnocení statické balance bylo využito posturografické metody. Pro dynamickou složku balance byl použit klinický test „*Timed Up and Go test*“. Statická balanční složka byla hodnocena pomocí posturografického systému Tetrax Interactive Balance System, který měří vertikální síly působící na tlakovou plošinu, jež se skládá ze 4 zcela nezávislých částí. Byly hodnoceny následujících 8 pozic klidného stoje: stoj na pevné podložce – s hlavou v neutrálním osovém postavení s očima otevřenými a očima zavřenými, stoj na měkké pěnové podložce – s hlavou v osovém neutrálním postavení s očima otevřenými a s očima zavřenými, stoj na pevném povrchu s očima zavřenými a hlavou otočenou 30° vpravo a poté vlevo, stoj na měkkém pěnovém povrchu s očima zavřenými a hlavou ve

flexi 30° a v extenzi 30°. Každá pozice byla měřena po dobu 32 sekund podle standardů systému Tetrax. Získaná data byla přepočítána na index stability a dále bylo propočítáváno procentuální zatížení postižené končetiny váhou těla. Index stability byl vypočítán s posturálních výchylek a rozložení tlaků působících na plošinu o frekvenci snímání 32 Hz. Toto se shoduje s tradičním měřením výchylek COP.

Celkem se studie účastnilo 30 probandů. Výsledky studie ukazují na zlepšení indexu stability po použití Wii-fit systému pro terapii. Bylo zjištěno lepší rozložení váhy těla na obou dolních končetinách. Postižená končetina byla více zatěžována v období před terapií programem Wii-Fit. Rozložení váhy na obou dolních končetinách bylo poté symetričtější. U pacientů, kteří byly zahrnuti do skupiny ve Wii-Fit terapii, došlo k výraznějšímu zlepšení posturální stability než u pacientů v kontrolní skupině.

Randomizovaná studie **Heuvela et al. (2013)** použila pro hodnocení posturální stability stoje u osob s Parkinsonovou nemocí silovou platformu, ze které byly snímány informace o pozici COP, které byly přenášeny do počítače se zapojeným LCD monitorem. Platforma byla vybavena senzory Xsens pro zaznamenávání pohybu a polohy bodu COP. Posturografická analýza hodnotila klidný stoj a rytmické pohyby během hraní 6-ti různých her virtuální reality, kdy pacienti museli např. pochodovat na místě. Sledovány byly limity stability a úroveň kontroly posturální stability během stoje při výchylkách v předozadní a latero-laterální ose. Silová platforma Kistler<sup>®</sup> byla využita k získání dat o přemísťování COP. Monitor ukazoval polohu COP bodu jako vizuální feedback. Testování klidného stoje probíhalo po dobu 20 sekund, poté následovala rytmická část po dobu 100 sekund, a na závěr opět klidný stoj po dobu 20 sekund.

Studie v závěru dokazuje, že posturografická analýza pro hodnocení balance se silovou platformou a monitorem pro vizuální feedback umožnila kvantifikovat posturální schopnosti a detailně tak vyšetřit dynamickou složku posturálních funkcí.

Randomizovaná kontrolovaná studie kolektivu autorů **Hebert et al. (2011)** se věnovala vlivu vestibulární rehabilitace na únavu a balanční poruchy u pacientů s roztroušenou sklerózou (celkem 38 účastníků). Měření balančního deficitu probíhalo s využitím posturografického systému SMART Balance Master System systému NeuroCom. Hodnocena byla statická vzpřímená pozice a její posturální kontrola

s aplikací standardizovaného protokolu SOT testu, který se skládá z 6 částí a je do něj zahrnut vizuální feedback. Při testu byly posturální výchylky zaznamenávány a následně převedeny na percentil rovnováhy. Zhodnocení posturální kontroly posturografickou metodou ukázalo na zlepšení posturálních funkcí a snížení balančního deficitu u pacientů s roztroušenou sklerózou, kteří podstoupili vestibulární rehabilitaci.

**Yen et al. (2011)** sledoval vliv balančního tréninku, který probíhal s využitím technologie virtuální reality, na posturální funkce u pacientů s Parkinsonovou nemocí. Do studie bylo zahrnuto celkem 42 jedinců s diagnózou Parkinsonovi nemoci. Sledovalo se ovlivnění sensorické složky v posturálním řízení a hodnotil se výsledný efekt na posturální kontrolu. Hodnocení balančních schopností probíhalo s využitím tzv. Senzory Organization Test, dále single- a dual-task úkolů. Zaznamenávalo se skóre rovnováhy a poměr sensorické odpovědi. K posturografickému měření je použit SMART Balance System od NeuroCom Corporation, který obsahuje již definované programy a testovací protokoly, z nichž je v této studii využit právě SOT. Posturografické testování probíhalo ve 3 sériích – 1. před spuštěním terapie, 2. po 6-ti týdnech, 3. 4 týdny od ukončení terapie. Probandi měli za úkol zaujmout klidný stoj. Probandi stáli bosí na platformě s chodidly v definované standardizované pozici podle manuálu SMART systému. Platforma byla nepohyblivá v průběhu bodů 1-3 SOT a pohyblivá při úkolech 4-6 dle SOT. Každý proband absolvoval 2 SOT série, mezi nimiž byla vždy pauza 5 minut, kdy pacient seděl na židli. Program snímal vzdálenosti výchylek a pozici bodu COP. Dále byla definována pozice paží a hlavy, kdy paže byly volně uloženy podél těla a pohled očí směřoval přímo dopředu. Mezi jednotlivými částmi SOT byla dovolena pauza 15 až 30 sekund.

Studie potvrzuje, že obě formy terapie, kterou podstoupili probandi studie s Parkinsonovou nemocí, zlepšují sensorickou integritu a mají vliv na lepší balanční schopnosti dle SOT. Získaná data vyjadřovala skóre rovnováhy jako index pro vyjádření posturální stability. Výchylky COG byly hodnoceny pro antero-posteriorní osu. Během SOT testování byly pacienti vystaveni dalším podnětům, které mohly narušit posturální rovnováhu, jako je verbální odpověď na položenou otázku během stoje na platformě.

Studie nedošla k jednoznačnému výsledku a nepotvrdila větší efekt terapie virtuální realitou na balanční funkce a zlepšení sensorické integrity v posturálním řízení. Avšak tento výsledek je přičítán spíše malé skupině účastníků studie.

**Tab. 2: Posturografie u neurologických poruch**

| Studie, účastníci, diagnóza  | Posturografický systém                | Účel využití posturografie                                  | Definice výchozích podmínek stoje                            | Sledovaná data/ Testovací protokol | Závěr  |
|--|---------------------------------------|---|--|------------------------------------|--|
| Hung et al. (2014); Taiwan<br>30 účastníků: chron.stádium po iktu        | Tetrax Interactive Balance System     | Vliv terapie s prvky virutální reality na balanční funkce   | 8 definovaných pozic klidného stoje                          | Index Stability, výchylky COP      | Zlepšení indexu stability po použití Wii-fit systému v terapii |
| Heuvel et al. (2013); Nizozemsko<br>36 účastníků: PN                     | Kistler System                        | Hodnocení posturální stability                              | Klidný stoj, dynamická aktivita při stoji, vizuální feedback | Data o lokaci COP                  | Kvantifikace a vyšetření dynamické složky posturální kontroly  |
| Hebert et al. (2011); Colorado, USA<br>38 účastníků: Sclerosis multiplex | SMART Balance Master System, NeuroCom | Kvantifikace balančních poruch, vliv vestibulární terapie   | Vzpřímený stoj dle protokolu SOT                             | SOT 1 - 6                          | Snížení balančního deficitu u pacientů po vestibulární terapii |
| Yen et al. (2011); Taiwan<br>42 účastníků: PN                            | SMART Balance System NeuroCom         | Hodnocení integrity senzoricých vstupů v posturálním řízení | Vzpřímený stoj dle protokolu SOT                             | SOT 1-6 + single a dual-task úkoly | Není signifikantní výsledek                                    |

Chron.= chronické, PN = Parkinsonova nemoc

### 4.3 Posturografické metody v hodnocení posturální stability a posturální kontroly u vestibulárních poruch

Cílem randomizované předběžné studie **Marioniho et al. (2013)** bylo zjistit význam využití dynamické poturografie v časně vestibulární rehabilitaci kombinovanou s domácím pohybovým programem u pacientů s unilaterálním periferním vestibulárním syndromem. Pacienti byly měřeni na posturografické platformě 2 týdny poté, co jim byl diagnostikován vestibulární syndrom a dále po asi 6-ti týdnech, během kterých pacienti absolvovali rehabilitační a pohybový program. Pacienti byly rozděleni do dvou skupin po

patnácti osobách, kdy první skupina absolvovala vestibulární terapii s využitím posturografie a druhá byla kontrolní skupinou bez vestibulární rehabilitace. Obě skupiny byly posturograficky snímány s využitím dynamické posturografie (*computerized dynamic posturography*) systémem VSR System, NeuroCom International Inc., Clackamas, OR. Na posturografické platformě byly testovány následující situace a modality:

1. testování 3 hlavních senzoričkových funkcí (vestibulární, vizuální a proprioceptivní) a jejich integrity v posturální kontrole s využitím modifikovaných klinických testů senzoričkové organizace a balance (Modified Clinical Tests of Sensory Organization and Balance = mCTSIB). Dle mCTSIB je hodnocena rychlost výchylek bodu COG ve čtyřech výchozích pozicích: stoj s otevřenýma a zavřenýma očima na pevném povrchu, stoj s otevřenýma a zavřenýma očima na měkkém/pěnovém povrchu. Každý test trval 10 sekund a každá situace byla testována třikrát.

2. Testování motorických funkcí s limity stability (LOS) pro kvantifikaci několika charakteristických modalit a pohybů, které testují schopnost testované osoby udržet se v rovnovážné pozici a umět rychle zaujmout stabilní pozici i přes působící výchylky. Během testování je monitorován bod COG testované osoby, který je zobrazen na monitoru před probandem a tak je podpořen vizuální feedback. Testovaná osoba má za úkol sledovat kurzor bodu COG a přizpůsobit co nejrychleji svou pozici poloze bodu COG přenesením váhy. Vyhodnocovaly se následující parametry: reakční čas – čas v sekundách mezi signálem k pohybu a začátkem pohybu testované osoby; rychlost pohybu – průměrná rychlost přemístění COG, ve stupních za sekundu; vzdálenost k primárnímu konečnému bodu; exkurze v cílovém bodě – vzdálenost, kterou bod COG testované osoby urazí na první pokus do cílového místa, aby se trefil do zobrazovaného bodu COG vyjádřená v procentech; maximální exkurze – největší vzdálenost bodu COG během pokusu; jako poslední parametr byla hodnocena kontrola směru vyjádřená v procentech – porovnání mezi množstvím pohybů v zamýšleném směru a mezi množstvím nezamýšlených extra pohybů. Tyto parametry byly hodnoceny v 8 cílených situacích ve směrech pohybu 1. dopředu, 2. dopředu vpravo, 3. vpravo, 4. vpravo dozadu, 5. dozadu, 6. vlevo dozadu, 7. vlevo, 8. dopředu vlevo, a každý pokus trval 8 sekund.

Studie předkládá výsledky hodnocení a porovnání vlivu vestibulární terapie u pacientů s periferním vestibulárním syndromem. Data získaná z měření dynamickou

posturografií ukazují zlepšení u pacientů, kteří absolvovali vestibulární rehabilitaci ve všech hodnocených posturálních testech a motorických reakcích.

Randomizovaná studie **Scholtze et al. (2012)** použila posturografii jako objektivizační metodu pro hodnocení rovnováhy u pacientů s vestibulární neuritidou a zhodnocení efektu farmakologické léčby. Celkem bylo do studie zahrnuto 62 pacientů s touto diagnózou. Hodnocení balance probíhalo s využitím dynamické posturografie (*computerized dynamic posturography - CDP*) systému EquiTest®, NeuroCom International Inc., Clackamas, OR, USA. K hodnocení byl použit protokol SOT (Sensory Organization Test), který zjišťuje skóre rovnováhy, tzv. *equilibrium score*, během 6-ti definovaných situací dle SOT, každý pokus probíhal po dobu 20 sekund.

Výsledek měření pomocí CDP a protokolu SOT ukazuje charakteristický projev deficitu posturální kontroly u pacientů s periferním vestibulárním syndromem s velmi špatným výsledkem v podmínkách 5 a 6 dle SOT. Výsledky měření se během 4 týdnů farmakologické intervence zlepšovaly. Studie ukázala pozitivní efekt farmakologické terapie na posturální funkce u pacientů s vestibulární neuritidou.

**Tab. 3: Posturografie u vestibulárních poruch**

| Studie, účastníci, diagnóza  | Posturografický systém | Účel využití posturografie                   | Definice výchozích podmínek stoje            | Sledovaná data/ Testovací protokol | Závěr   |
|--|------------------------|--|--|------------------------------------|---|
| Marioni et al. (2012); Itálie<br>30 účastníků:<br>Vestibulární syndrom             | VSR System, NeuroCom   | Význam CDP v časné vestibulární rehabilitaci | Stoj statický, stoj v dynamických podmínkách | SOT, LOS, mCTIB                    | Zlepšení stability po časné vestibulární rehabilitaci                         |
| Scholtz et al. (2012), Rakousko/ Německo<br>62 účastníků:<br>vestibulární neuritis | EquiTest NeuroCom      | Hodnocení rovnováhy po farmakologické léčbě  | Statický stoj dle protokolu SOT              | SOT                                | Signifikantní výsledky posturografie, zlepšení rovnováhy po lékové intervenci |

CDP = computerized dynamic posturography, LOS = limits of stability, mCTSIB = Modified Clinical Tests of Sensory Organization and Balance



## 4.4 Souhrn

Celkem 12 studií vyhovovalo všem kritériím stanoveným diplomovou prací. Studie byly popsány a následně tabulkově zpracovány. Z výsledků vyplývá, že v současné době se k měření posturální stability a posturální kontroly nejčastěji používají metody dynamické posturografie (*computerized dynamic posturography*) a vizuální zpětnovazebné posturografie (*visual feedback posturography*), např. systém NeuroCom SMART Balance Master system a EquiTest. K hodnocení posturálních funkcí je velmi často použito posturografické hodnocení během statického stoje a jeho modifikací, využití testovacích protokolů – např. SOT a hodnocení parametrů COP (rychlost, trajektorie, plocha, výchylky, aj.). Používané metodiky se liší a je zaznamenán velký počet sledovaných dat a nejednotnost v jejich výběru. U některých studií chyběla definice a stanovení podmínek testování a výchozího nastavení na platformě. V některých případech chybělo upřesnění sledovaných parametrů. Některé studie se věnovaly také popisu posturální kontroly a v popisu nechybělo upřesnění hodnocené funkce posturální kontroly.

Nalezené odlišnosti a další poznatky budou uvedeny v diskusi.

## 5 Diskuse

Diplomová práce měla za cíl představit v úvodní části nazvanou „teoretická východiska problematiky“ terminologickou situaci v oblasti posturální stabilizace a rovnováhy. Tento záměr byl splněn a podařilo se shrnout dostupnou zahraniční i českou literaturu. Byl vytvořen souhrnný přehled současné terminologické situace a stanoveny rozdíly mezi rovnováhou a posturálním řízením. Dále byl shrnut a představen výčet přístrojových metod, které se v současné době nejvíce používají k hodnocení rovnováhy a posturální stabilizace.

Tento úkol nebyl jednoduchý, jelikož definice stěžejních pojmů v oblasti posturální stability a stabilizace jsou často rozdílné. Na tento rozpor upozorňuje Vařeka, který vidí zdroj šíření omylů v záměně COP a COM (těžiště) a také poukazuje na mylnou představu o tom, že pomocí záznamu na tenzometrických plošinách lze sledovat pohyb těžiště. Stejně tak považuje za zavádějící některé popisy rovnovážných reakcí. Rašev vidí hlavní problém v nepochopení pojmů posturální stability a posturální stabilizace a jejich chybné odlišení. Vařeka také upozorňuje na neurčitost pojmu posturální stabilita (*postural stability*), který podle jeho výkladu souvisí především se zajištěním vzpřímené pozice člověka. Dalším autorem, jenž naráží na chybné porozumění terminologie, je Kolář, který vidí základní rozpor již v rozdílném pohledu autorů na samotnou posturu (Vařeka, 2002, Rašev, 2011, Kolář, 2009).

V zahraniční literatuře je situace obdobná. Například autoři Taube a Gollhofer upozorňují na velké rozšíření pojmu „posturální stabilita“ i v případech, kdy se bez pochyby jedná o proces posturálního řízení a nikoli o statický ukončený děj a apelují na obezřetnost v jeho užívání. Stabilita je z mechanického hlediska děj ukončený, avšak posturální stabilita je stavem stále se proměňujícím a nelze ji tedy hodnotit pro daný okamžik (Taube, Gollhofer, 2012).

Další autoři, kteří se snažili o vytvoření rozsáhlé systematické review se zaměřením na hodnocení posturální stability u skupiny osob s osteoartrózou kolenního kloubu, narazili ve svém počínání taktéž na velkou nejednotnost, a to ve způsobu posturografického měření, ve výběru hodnocených dat a jejich analýze. A dále se potýkali s rozdílností výchozích podmínek měření a nastavení samotného vzpřímeného stoje, kdy v některých studiích nebyly tyto podmínky vůbec definovány. Heterogenita získaných

dat byla příčinou selhání záměru o objektivizaci situace a znemožnila vytvoření metaanalýzy (Lawson et al., 2015). Tyto poznatky budou přiblíženy v dalších podkapitolách diskuse, které se týkají otázek diplomové práce.

Jednou z příčin terminologické nejednotnosti může být dle mého názoru částečná „izolovanost“ jednotlivých oborů biomechaniky, neurofyziologie a kineziologie a v některých případech i v chybném přejímání těchto definic (Janura, Míková, 2003).

V současné dostupné literatuře dosud nebyla položena žádná souhrnná definice posturální stabilizace a rovnováhy, či vymezení těchto pojmů, avšak v zahraniční literatuře lze najít monografie, které objasňují pojmy posturální kontroly, posturální stability, rovnováhy, posturální stabilizace a jejich řízení, např. autoři Gollhofer, Hadders-Algra, Taube, Wolf, aj.

Dle mého názoru současná literatura postrádá rozlišení třech hlavních stavů, které náleží pod pojem stabilita: 1. balance, posturální rovnováha - čili stabilita bez úmyslu pohybu, 2. „stand by“ nastavení již připravený pro zaujetí postury k zamýšlenému pohybu a 3. atituda, z níž pohyb přímo vychází. Takto nahlíží na posturu a posturální stabilitu Véle, který rozvíjí pochopení procesů posturální stability a posturálního řízení.

## **5.1 Diskuse k otázce č. 1: Jaké jsou nejčastěji používané přístrojové měřicí postupy pro objektivní zhodnocení posturální stabilizace a rovnováhy a jak se odlišují?**

Do studií vybraných v rámci rešerše byly zahrnuty studie se třemi hlavními okruhy diagnóz a poruch - 1. muskuloskeletálních, 2. neurologických, 3. vestibulárních, pro možnost porovnání výběru posturografických metod u homogenní skupiny probandů a možnost zjistit, jestli se jednotlivé posturografické metody odlišují. Posturografie byla ve studiích použita jako nástroj pro objektivní hodnocení posturální kontroly.

V současné době se k měření posturální stability a posturální kontroly používají metody dynamické posturografie (*computerized dynamic posturography*) a vizuální zpětnovazebné posturografie (*visual feedback posturography*). Studie užívají k měření posturální kontrolu pomocí posturografie, která snímá polohu COP u testované osoby na

tenzometrické plošině. V literatuře se o posturografii pojednává jako o tzv. „zlatém standardu“ laboratorního měření posturální kontroly a balančních schopností pro její objektivitu a senzitivitu měření jak u zdravých osob, tak u pacientů s různým typem patologie, např. osteoartróza, polyneuropatie, neurodegenerativní onemocnění, atd. Jak dokazují další studie a review, patří posturografie neodmyslitelně mezi validní hodnotící metody pro objektivizaci posturální kontroly a balančních funkcí také u pacientů s vestibulární poruchou (Clarke, 2010).

Ve studiích je často hodnocena pouze statická složka posturální stability. Z použitých platform pro hodnocení posturální stability jsou nejčastěji využívány ty, které umožňují klopení v anteroposteriorním směru, avšak takové klopení plochy neodpovídá běžné situaci, se kterou se jedinec ve svém každodenním životě setkává. Lze tedy takové výsledky označit za objektivní a při špatném výsledku za patologické?

Dle mého názoru by mělo být hodnocení posturální stability, popř. stabilizace a zjišťování poruch stabilizačních funkcí testováno v situacích, ve kterých se posturální systém běžně nachází a zde zjišťovat jeho připravenost, limity a nedostatky. V současnosti se však testování posturální stability a rovnováhy testuje za podmínek, které jsou buď ztížené, nebo neodpovídají situacím, na které je posturální systém zvyklý reagovat během aktivit běžného života. Klopení podložky při dynamické posturografii (vpřed a vzad) takové běžné situaci zcela neodpovídá a hodnocení by tedy nemělo sloužit k určení posturální patologie, jelikož by tato posturální patologie měla být vztažena právě k situacím testovaným na plošině, nikoli v běžných situacích. Příkladem může být jedinec, který negativně reaguje na jízdu na horské dráze, či na jiné pouťové atrakci, ale v běžném životě je aktivní horolezec, který netrpí závratěmi.

K druhé části otázky, „jak se jednotlivé metody měření posturální stabilizace a rovnováhy odlišují“, byly zjištěny následující skutečnosti.

V publikovaných studiích panují značné odlišnosti ve výběru hodnocených parametrů a snímaných dat pomocí posturografie. Nejčastěji jsou ve studiích použita data, která snímají charakteristické vlastnosti COP (délce trajektorie, rychlost, plocha, kterou COP zaujímá, výchylky v různých osách). Obvykle je však použita jen jedna či dvě vlastnosti COP. Velká diskrepance je také v délce měření, které probíhá v různých časových intervalech od 5 sekund po dobu 40 sekund pro jeden pokus a někdy ve studii chybí uvedení délky testovacího pokusu (Patti et al., 2016). Odlišné jsou výchozí

podmínky pro nastavení statického stoje (stoj na 2DK s otevřenými očima, zavřenými očima, stoj na pevném povrchu, stoj na měkkém povrchu platformy, definované postavení chodidel a jejich vzdálenost od sebe, atd.). Uvedení těchto podmínek v některých studiích dokonce chybí (Palm et al., 2012). Vybrané parametry slouží k hodnocení balančních schopností u pacientů s odlišnými typy poruch balančních schopností různé etiologie. Toto se shoduje s poznatky systematických review, které uvádí, že stejné parametry slouží pro hodnocení balančních schopností u populace s bolestmi zad jako Low Back Pain, u geriatrických nebo neurologických pacientů s rozdílnými diagnózami (Parkinsonova nemoc, cévní mozková příhoda, diabetes mellitus, aj.) (Visser et al., 2008).

Na problém heterogenity ve snímaných datech upozorňují systematická review Lawsona et al. (2015).

## **5.2 Diskuse k otázce č. 2: Předkládá studie definici vybraných hodnocených posturografických parametrů a definuje, jaký ukazatel posturální stability a posturální kontroly je ve studii hodnocen?**

Autoři ve studiích uvádí hodnocení posturální stability, balančních schopností nebo posturální kontroly, které hodnotí velmi často pouze ve statickém stoji na rozdílném povrchu platformy (měkký povrch, pevný povrch). Někdy je uveden typ platformy, zda se jedná o platformu pevně ukotvenou, nebo pohyblivou, někdy tato a další specifikace chybí. Jen malá část z vybraných studií přesně popisovala, na jakém principu bude hodnocení probíhat, a jaká modalita posturálního řízení bude zkoumána.

Systematická review Lawsona et al. (2015), která se věnuje hodnocení posturálních funkcí u pacientů s gonartrózou, upozorňuje na velkou nejednotnost v metodikách hodnocení posturální kontroly a stability u těchto pacientů. Ve studiích zahrnutých v systematické review byl shledán nedostatek v definování použité metodiky a v definování sledovaných dat. Dále chyběl např. popis tenzometrické posturografické platformy, která byla použita (Lawson et al., 2015).

Nejvíce studií definovalo jako hlavní snímaný parametr polohu COP a jeho vlastnosti jako rychlost, délka trajektorie, kterou COP v průběhu měření vykoná, zaznamenávání výchylek, apod. Některé studie popisují, že je posturografické měření zacíleno na hodnocení posturální kontroly ve statickém stoji na pevné platformě bez dalších přidružených úkolů nebo testů. Ve studiích, které do svého designu zařadili další aktivity snímané na platformě, nikoli jen klidný stoj, ale byl zahrnut např. vizuální feedback, hodnocení sensorických vstupů, změny vnějších podmínek jako např. změna vlastností podložky, na které testovaná osoba stojí, pohyblivá platforma, specifické úkoly během měření, apod. bylo již pojednávání o hodnocení posturální kontroly zcela na místě (Yen et al., 2014, Heuvel et al., 2013).

Heuvel et al. (2013) ve studii detailně vystihuje princip posturografického měření a rozbor získaných dat. Naproti tomu Hebert et al. (2011) v popisu problematiky přibližuje jen velmi okrajově metodiku posturografického měření a definici snímaných parametrů posturální kontroly, dále chybí specifikace mechanismů posturální kontroly a není přiblížen ani obsah použitého testovacího protokolu SOT, princip měření, hodnocené úkony, podmínky testování, apod. Autoři píší o hodnocení posturální kontroly ve statickém vzpřímeném stoji, kterou je myšlen klidný stoj na platformě během hodnocení pomocí protokolu SOT. Studie se blíže nevěnuje rozboru posturální kontroly (Hebert et al., 2011).

Scholtze et al. (2012) ve své studii jasně popisují metodiku posturografického hodnocení a přibližují popis testovacího protokolu SOT jako takového, včetně uvedení všech pozic, ve kterých probíhá posturografické měření a snímání dat, což je velmi pozitivní. Definice vybraných situací, které budou hodnoceny, je předpokladem pro správnou interpretaci a pochopení studie.

Studie Marionihho et al. (2012) byla zařazena do seznamu studií i přes její nižší kvalitu dle pyramidu důkazů EBM. Studie splňuje podmínky randomizace, ale je pouze předběžnou studií prošetřující aktuální stav problematiky. Avšak nepodařilo se najít jiné studie vyšší evidence vyhovující kritériím rešerše k tématu vestibulárních poruch a posturografie. Ve studii jsou jasně uvedeny parametry a situace hodnocené dynamickou posturografií a také definice hodnocených modalit posturální kontroly – rozdělení testů pro zjištění stavu integrity sensorických vstupů a pro motorické reakce na vnější vlivy, které ruší stabilní polohu.

Hlavním úskalím v používání posturografie jako metody pro objektivizaci posturálních funkcí je podle mého názoru velká nejednotnost ve využití technologií a chybějící standardizace podmínek, během kterých hodnocení probíhá. Jak upozorňuje i Lawson et al. ve své systematické review.

Jako další problém se jeví chybná interpretace pojmu posturální kontrola, který mnoho studií předkládá jako jev, který je hodnocen posturografickou metodou, ačkoli výběr posturografické metody není odpovídající, např. hodnocení statického stoje na pevné posturografické plošině při otevřených očích, statický stoj na plošině s obutými botami, aj.

Podle mého názoru, by pro klinickou praxi bylo výhodnější sjednotit v rámci možností užívanou terminologii a standardy pro hodnocení posturální kontroly, posturální stabilizace a rovnováhy.

## 6 Závěr

Diplomová práce měla za cíl podat přehled o problematice posturální stabilizace a rovnováhy a zjistit, čím se odlišuje rovnováha a posturální řízení. Práce byla zpracována formou rešerše. Cíl práce se podařilo splnit a v úvodní kapitole o teoretických východiscích byla terminologie problematiky podrobně popsána a vymezena v jednotlivých kapitolách z pohledu stěžejních vědních oborů, které se zabývají posturální stabilitou, stabilizací lidské postury a jejich hodnocením.

Po důkladném rozboru současné dostupné literatury české i zahraniční byl zjištěn rozpor v názorech jednotlivých autorů a nejednotnost definic klíčových pojmů z oblasti posturální stabilizace a rovnováhy. Ačkoli je tato nejednotnost přítomna jak v teoretických východiscích, tak i v používaných posturografických metodách, které slouží k objektivnímu hodnocení posturálních stabilizačních funkcí, pro klinickou praxi by byl výhodnější jednotný názorový konsenzus.

Jelikož jsem si vědoma mnoha ohledů, kvůli kterým sjednocení terminologie není v současné situaci možné, považuji za hlavní přínos této diplomové práce podání přehledu o problematice posturální stabilizace a rovnováhy a souhrnu definic a východisek pojmů, které jsou dostupné v současné české i zahraniční literatuře. Doufám, že toto přispěje k lepšímu porozumění této problematiky.

Deskriptivně - analytická část diplomové práce, která se zaměřila na zjištění nejčastěji používaných posturografických metod dospěla taktéž k uspokojivým výsledkům a položené základní otázky diplomové práce byly zodpovězeny. V rámci rešerše bylo vyhledáno celkem 104 studií, z nichž 12 jich splnilo kritéria stanovená diplomovou prací. Důvodem pro vyřazení studií bylo především datum publikování 2005 a starší a nízký stupeň evidence. Vyhledané studie vykazují vysoký stupeň evidence dle EBM. Jedná se o 1 systematickou review, ostatní jsou randomizované kontrolované studie a randomizované klinické studie.

Odpovědi na položené základní otázky diplomové práce jsou následující:

- 1) V současné době se k měření posturální stability a posturální kontroly používají metody dynamické posturografie (*computerized dynamic posturography*) a vizuální zpětnovazebné posturografie (*visual feedback posturography*). V literatuře se o posturografii pojednává jako o tzv. „zlatém



standardu“ laboratorního měření posturální kontroly a balančních schopností pro její objektivitu. V publikovaných studiích panují značné odlišnosti ve výběru hodnocených parametrů a snímaných dat pomocí posturografie. Tato situace je dle mnohých autorů neuspokojivá.

- 2) Byly shledány nedostatky v definování a ujednání použité metodiky, sledovaných datech a hodnocených ukazatelech posturálního řízení, které jsou ve studiích hodnoceny. Nejvíce studií použilo jako hlavní snímaný parametr polohu COP a jeho vlastnosti jako je rychlost, délka trajektorie, kterou COP v průběhu měření vykoná a zaznamenávání výchylek.

Diplomové práci se podařilo splnit stanovené cíle a věřím, že tyto poznatky budou přínosem pro lepší orientaci v problematice rovnováhy a posturálního řízení, jejíž pochopení není vždy zcela jednoduché, jak vyplývá z výsledků diplomové práce.

Z pozice fyzioterapeuta bych ráda podotkla význam pochopení problematiky pro klinickou praxi, jelikož právě fyzioterapeuti se velmi často setkávají s přístrojovým hodnocením posturálních funkcí a pro správnou interpretaci výsledků hodnocení a volbu vhodné terapie je nezbytné porozumět principům těchto měření.

## Seznam použité literatury

### Seznam použitých českých zdrojů

- AMBLER, Z. *Základy neurologie*. 7. vyd. Praha, Galén. 2011. s. 351. ISBN: 978-80-7262-707-3
- ČUMPELÍK, J., STRNAD, P., VÉLE, F. Dechové pohyby a stabilita páteře. In *Diagnostika, terapie a prevence pohybem*. Jelen, K. (ed.) Praha : Univerzita Karlova. Fakulta tělesné výchovy a sportu, 2001. s. 90-94. ISBN: 80-86317-15-3
- DYLEVSKÝ, I. *Obecná kineziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. s. 192. ISBN: 978-80-247-1649-7
- DYLEVSKÝ, I. *Speciální kineziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. s. 184. ISBN: 978-80-247-1648-0
- GRYC, T. *Vztah mezi posturální stabilitou a pohybovými aktivitami*. Praha, 2014. Disertační práce. Fakulta tělesné výchovy a sportu. Univerzita Karlova v Praze. Školitel František Zahálka
- HAHN, A. *Otoneurologie – diagnostika a léčba závratí*. 1. vyd. Praha: Grada, 2004. s. 119. ISBN: 80-247-0510-9
- HAHN, A. *Diagnostika a terapie závratí*. Praha, 2013. Habilitační práce. 3. Lékařská fakulta. Univerzita Karlova v Praze.
- JANURA, M., JANUROVÁ, E. *Fyzikální základ biomechaniky*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. s. 95. ISBN: 978-80-244-1805-6
- JANURA, M., MÍKOVÁ, M. Využití biomechaniky v kineziologii. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2003, roč. 10, č.1, s. 30-33. ISSN: 1211-2658
- KARAS, V. *Biomechanika struktury a chování pohybového systému člověka při volní motorické činnosti*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 1978. s. 207. ISBN: 60-004-78
- KARAS, V., OTÁHAL, S., SUŠANKA, P. *Biomechanika tělesných cvičení*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990. s. 180. ISBN 80-04-20554-2
- KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. 1. vyd. Praha: Galén, 2009, 713 s. ISBN 978-807-2626-571

KRÁLÍČEK, P. *Úvod do speciální neurofyzologie*. 3. vyd. Praha, Galén, 2011. s. 235. ISBN: 978-80-7262-618-2

RAŠEV, E. *Posturomed, Therapie Anleitung für die Posturale Therapie nach Rašev*. 2005, Schweinfurt, Pullenreuth, Deutschland

RAŠEV, E. *Testování posturální stabilizace motoriky ve vztahu s bolestmi zad a evaluace dysfunkce posturálního řízení motoriky metodou posturální somatooscilografie*. Praha, 2011. Disertační práce. Fakulta tělesné výchovy a sportu. Univerzita Karlova v Praze. Školitel práce Dagmar Pavlů

VAŘEKA, I. Posturální stabilita (I. část) – Terminologie a biomechanické principy. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2002, roč. 9, č. 4, s. 115-121. ISSN: 1211-2658

VAŘEKA, I., VAŘEKOVÁ, R. *Kineziologie nohy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. s. 189. ISBN 978-80-244-2432-3

VAŘEKOVÁ, J. Problematika lidské postury v pohledu neurofyzologie, filozofie a psychologie. In *Diagnostika, terapie a prevence pohybem*. Jelen, K. (ed.) Praha: Univerzita Karlova. Fakulta tělesné výchovy a sportu, Katedra zdravotní tělesné výchovy a tělovýchovného lékařství UK FTVS, Praha, 2001. s. 95-104. ISBN: 80-86317-15-3

VAVERKA, F., *Základy biomechaniky pohybového systému člověka*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 1995. s. 40. ISBN: 80-7067-474-1

VAVERKA, F., JANURA, M. *Fyzikální základ biomechaniky*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1994. s. 41. ISBN: 80-7067-399-0

VÉLE, F. *Kineziologie pro klinickou praxi*. 1. vyd. Praha, Grada, 1997. s. 271. ISBN: 80-7169-256-5

VÉLE, F. *Kineziologie*. 2. vyd. Praha, Triton, 2006. s. 375. ISBN: 80-7254-837-9

VÉLE, F., PAVLŮ, D. Test dle Véleho, neboli Véle-test. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2012, roč. 19, č. 2, s. 71-73. ISSN: 1211-2658

### **Seznam zahraničních zdrojů**

ARUIN, A., S. *The Effect of Changes in the Body Configuration on Anticipation Postural Adjustments*. Motor Control. 2003, vol. 7, no. 3. p. 264-277. ISSN: 12893957

- CIFU, D. X. et al. *Braddom's physical medicine & rehabilitation*. 5. vyd. Philadelphia : Elsevier, 2016. s. 1204. ISBN: 978-0-323-28046-4
- CLARKE, A. H. Laboratory testing of the vestibular system. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*. 2010, vol. 18, p. 425 – 430. ISSN: 1068-9508
- GARSTANG, S. V., STITIK, T. P. Osteoarthritis: epidemiology, risk factors, and pathophysiology. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2006, vol. 85, p. S2-S11. ISSN: 0894-9115
- GOEBEL, J. A. et al. High frequency sway characteristics in the elderly. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany, Claussen C.-F.(ed.)*. Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 283-290. ISBN: 0-444-50012-x
- HADDERS-ALGRA, M. et al. *Postural control: a Key Issue in Development Disorders*. London: Wiley-Blackwell, 2008. s. 352. ISBN: 978-1-898683-57-5
- HAITH, A., M., KRAKAUER, J., W. Theoretical Models of Motor Control and Motor Learning. In *Routledge Handbook of Motor Control and Motor Learning*. Gollhofer, A., Taube, W., Nielsen, J.B.(ed.) Simultaneously Publisher in the USA and Canada by Routledge, 711 Third Avenue, New York, NY 10017, 2012. s. 14-15. ISBN: 978-0-415-66960-3
- HASTINGS, K. et al. Sensory Ambulation, Fall Evaluation. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany. Claussen C.-F.(ed.)*. Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 298. ISBN:0-444-50012-x
- HEBERT, J. R. et al. Effect of Vestibular Rehabilitation on Multiple Sclerosis-Related Fatigue and Upright Postural Control: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy*. 2011, vol. 91, no. 8, p. 1166 – 1183. ISSN: 0031-9023
- HIRVONEN, T. P. et al. Evaluation of vestibular rehabilitation with visual feedback posturography – preliminary experiences. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany. Claussen C.-F.(ed.)* Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 109-112. ISBN: 0-444-50012-x

HORAK, F. B. Mechanics and Physiological aspects. *Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls?* Age and Ageing. 2006, vol. 35 (suppl. 2) no. s2 s. ii7- ii11. ISSN: 0002-0729 DOI: 10.1093/ageing/afl0077

HUNG, J.-W. et al. Randomized Comparison Trial of Balance Training by Using Exergaming and Conventional Weight-Shift Therapy in Patients With Chronic Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014, vol. 95, p. 1629-1637. ISSN: 0003-9993

CHYU, M. C. et al. Effects of tai chi exercise on posturography, gait, physical function and quality of life in postmenopausal women with osteopaenia: a randomized clinical study. *Clinical Rehabilitation*. 2010, vol. 24, p. 1080 – 1090. ISSN: 0269-2155

JAUREGUI-RENAUD, K. et al. Dynamic posturography and randomized perturbed posturography in the follow-up of patients with polyneuropathy. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany*. Claussen C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 444. ISBN: 0-444-50012-x

LACKNER, J. R., DIZIO, P. Vestibular, Proprioceptive, and Haptic Contributions to Spatial Orientation. *Annual Review of Psychology*. 2005, vol. 56, no. 2, s. 115-147. DOI: 10.1146/annurev.psych.55.090902.142023

LATASH, M. L., ZATSIORSKY, V. M. Joint stiffness: myth or reality? *Human Movement Science*. 1993, vol.12, no.6, p. 653–92. ISSN: 0167-9457

LAWSON, T. et al. Laboratory-based measurement of standing balance in individuals with knee osteoarthritis: A systematic review. *Clinical Biomechanics*. 2015, vol. 30, p. 330-342. ISSN: 0268-0033

LINDGREN, R. et al. No effects of acute alcohol ingestion on subjective visual horizontal during eccentric rotation. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany*. Claussen C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 107. ISBN: 0-444-50012-x

MAGNUSSON, M. et al. Is a hand held object stabilized by reducing postural movements or can it be stabilized independently?. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry*

and modern treatment. *Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany*. Claussen C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 108. ISBN: 0-444-50012-x

MARIONI, G. et al. Early rehabilitation for unilateral peripheral vestibular disorders: a prospective, randomized investigation using computerized posturography. *European Archive of Otorhinolaryngology*. 2013, vol. 270, p. 425 – 435. ISSN: 1434-4726

MASSION, J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 1992, vol. 38, no. 1, p. 35-56. ISSN: 0301-0082

MASSION J., ALEXANDROV, A., FROLOV, A. Why and how are posture and movement coordinated? *Progress in the Brain Research*. 2004, vol.143, no. 2, p. 3–27. ISSN: 0079-6123

METTLER, A. et al. Balance Training and Center-of-Pressure Location in Participations with Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*. 2015, vol. 50, no. 4, p. 343-349. ISSN: 1947-380X

NAKAHARA, H, TAKEMORI, S., TSURUOKA, N. Influence of height on the spatial orientation in acrophobia. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany*. Claussen, C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 131-133. ISBN: 0-444-50012-x

ÖZKÜRK, G. et al. Effects of lower back pain on postural equilibrium and fall risk during the third trimester of pregnancy. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2015, vol. 29, no. 8, s. 1358-1362. ISSN: 1476-4954

PALM, H. G. et al. Effect of knee bracing on postural control after anterior cruciate ligament rupture. *The Knee*. 2012, vol. 19, p. 664-671. ISSN: 0968-0160

PATTI, A. et al. Pain Perception and Stabilometric Parameters in People With Chronic Low Back Pain After a Pilates Exercise Program. *Medicine*. 2016, vol. 95, no. 2, p. 1-7. ISSN: 0025-7974

PERRIN, P. H. et al. Elderly people practising physical and sports activities display better posture control, even if They began to exercise late in life. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular*

*Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany.* Claussen, C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 547. ISBN: 0-444-50012-x

REID, S. A. et al. Effect of Cervical Spine Manual Therapy on Range of Motion, Head Repositionin, and Balance in Participatians With Cervicogenic Dizziness: A Randomized Controlled Trial. *Archieves of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015, vol. 95, p. 1603-1612. ISSN: 0003-9993

ROBERTSON, D. G. E. et al. *Research Methods in Biomechanics*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Printer Brothers, USA, 2004, p. 440. ISBN: 0-7360-3966-X

SCHOLTZ, A.-W. et al. Comparison of the Therapeutic Efficacy of a Fixed Low-Dose Combination of Cinnarizine and Dimenhydrinate with Betahistine in Vestibular Neuritis: A Randomized, Double-Blind, Non-Inferiority Study. *Clinical Drug Investigation*. 2012, vol 32, no. 6, p. 387 – 399. ISSN: 1173-2563

SIREVAAG, E. J., ROHRBAUGH, J. W., GOEBEL, J. A. Frequency specific amplitude analysis of sway in malingerers versus patients. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany.* Claussen, C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 273-277. ISBN: 0-444-50012-x

TAKEMORI, S., NAKAHARA, H. Spatial orientation and body balance – Especially the height and body balance. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany.* Claussen, C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 269-272. ISBN: 0-444-50012-x

TAUBE, W., GOLLHOFER., A. Postural Control and Balance Training. In *Routledge Handbook of Motor Control and Motor Learning*. Gollhofer, A., Taube, W., Nielsen, J.B. (ed.). Simultaneously Publisher in the USA and Canada by Routledge, 711 Third Avenue, New York, NY 10017, 2012. s. 252. ISBN: 978-0-415-66960-3

TEREKHOV, Y. Stabilometry as a diagnostic tool in clinical medicine. *CMA Journal*. 1796, vol.115, no. 9, p. 631-633. ISSN: 1488-2329

TOUPET, M., GAGEY, P. M., HEUSCHEN, S. Vestibular patients and aging subjects lose use of visual input and expem more energy in static postural control. In *Vertigo*,

*Nausea, Tinnitus and Hypakusia due to entral Disequilibrium – Visua mechanisms in Balance Control. Proceeding of the XXth Equilibrimetric Society, Bad Kissingen – Germany, 27-29 March, 1992. vol. XX. Claussen, C.-F.(ed.). Hamburg: medicin + farmacie dr. Werner rudat a Co Nachf., Edition m+p. 1994. s. 279-293. ISBN: 3-922-326-40-4*

VISSER, J. E. et al. The clinical utility of posturography. *Clinical Neurophysiology*. 2008, vol. 119, p. 2424-2436. ISSN: 1388-2457

WATANUKI, K., MASAHIRO, T., IKEDA, T. The influence of Coriolis cross-coupling stimulation on postural sway and eye movement. In *Equilibrium research, Clinical Equilibrimetry and modern treatment. Transaction of the XXth Regular Meeting of the Bárány Society 1998 at Würzburg, Germany. Claussen, C.-F.(ed.). Amsterdam: Elsevier, 2000, s. 89-93. ISBN: 0-444-50012-x*

WILLIAMS, M., LISSNER, H. *Biomechanics of human motion*. Philadelphia [etc.] : W.B. Saunders, 1962. s. 147.

WINTER, D. A. *Biomechanics of human movement*. New York: John Wiley and son, 1979. s. 202. ISBN:0-471-03476-2

WINTER, D. A. *Human balance and posture control during standing and walking. Gait & Posture*.1995, vol.3, no.4, p. 193-214. ISSN: 0966-6362

WOLF, H., D. *Neurophysiologische Aspekte des Bewegungssystems: Eine Einführung in die neurophysiologische Theorie der manuellen Medizin*. 3. vyd., Springer: Německo, 1996, s. 221. ISBN: 978-3540515005

YEN, C. Y. et al. Effect of Virual Reality-Augmented Balance Training on Senzory Organization and Attentional Demand for Postural Control in People With Parkinson Disease: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy*. 2011, vol. 91, no. 6, p. 862 – 874. ISSN: 2079-0015

### **Seznam internetových zdrojů**

DIETZ, V. Human neuronal control of automatic functional movements. Interaction between central programs and afferent input. *Physiological Reviews* [online]. 1992, 72 (1), p. 33-69. [cit. 08-03-2016]. Dostupné z: <http://physrev.physiology.org/content/72/1/33>



DNS. *Dynamická neuromuskulární stabilizace- cvičení ve vývojových řadách* ©. [online]. 2015 [cit. 20-11-2015]. Dostupné z: <http://www.dns-cz.com/diagnostika-poruch-dle-dns>

FRANCA, F. R. et al. Segmental stabilization and muscular strengthening in chronic low back pain. *Clinics (Sao Paulo)* [online]. 2010, 65(10), p. 1013-1017 [cit. 20-11-2015]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2972594/>

HEUVEL van den, M. R. C. et al. The effect of augmented visual feedback during balance training in Parkinson disease: study design of a randomized clinical trial. *BMC Neurology* [online]. 2013, 13(137), p. 1-9 [cit. 01-03-2016]. Dostupné z: <http://www.biomedcentral.com/1471-2377/13/137>

JEKA, J. J., LACKNER, J. R. Fingertip contact influences human postural control. *Experimental Brain Research* [online]. 1994, 79 (2), p. 492-502 [cit. 20-01-2016]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2F00229188#page-1>

KAPTEYN, T., S. et al. Standardization in Platform Stabilometry being a Part of Posturography. *International Society of Posturography. Agressologie*. [online]. 1983, 24 (7), p. 321-326 2012 [cit. 18-02-2016]. Dostupné z: <http://ada-posturologie.fr/StandardizationKapteyn.htm>

KINESIOLOGY. [online]. 2012 [cit. 18-02-2016]. Dostupné z: <http://www.crystalinks.com/kinesiology.html>

KISTLER. Piezoelectric Theory. [online]. 2016 [cit. 27-02-2016]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=92&model=download>

LEE, S. C. Vestibular System Anatomy. *Medscape*. [online]. 2013 [cit. 27-01-2016]. Dostupné z: <http://emedicine.medscape.com/article/883956-overview>

MCCASLIN, D. L. Electronystagmography/videonystagmography. *San Diego : Plural Pub. 2013* [online]. 2013 [cit. 16-01-2016]. Dostupné z: <http://alltitles.ebrary.com/docDetail.action?docID=10901583>

MOJE MEDICÍNA. *Teorie a zdroje pro Evidence Based Medicine*. [online]. 2011 [cit. 16-02-2016]. Dostupné z: <https://www.mojemedicina.cz/pro-lekare/leciva/evidence-based-medicine/teorie-a-zdroje-pro-evidence-based-medicine/>

NATUS®. *Balance & Mobility* [online]. 2016 [cit. 25-02-2016]. Dostupné z: [http://www.natus.com/index.cfm?page=products\\_balance\\_mobility&crd=268](http://www.natus.com/index.cfm?page=products_balance_mobility&crd=268)

NATUS. NeuroCom Tests Protocols©. *Natus Balance & Mobility* [online]. 2016 [cit. 25-02-2016]. Dostupné z: <http://balanceandmobility.com/products/neurocom-test-protocols/#sot>

NATUS. *SMART Balance Master Neurocom*©. [online]. 2016 [cit. 25-02-2016]. Dostupné z: [http://www.natus.com/documents/015367A\\_SMART-BM\\_EN-US\\_lores.pdf](http://www.natus.com/documents/015367A_SMART-BM_EN-US_lores.pdf)

OLIVIERA, C., B. et al. Abnormal sensory integration affects balance control in hemiparetic patients within the first year after stroke. *AACD -Adult Physiotherapy, São Paulo, SP, Brazil*©. [online]. 2011 [cit. 25-02-2016]. Dostupné z: [https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3226598\\_cln-66-12-2043-g002&req=4](https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3226598_cln-66-12-2043-g002&req=4)

PATOBIOMECHANIKA A PATOKINESIOLOGIE. Analýza pohybu. *Kompendium*. [online].1999 [cit. 16-02-2016]. Dostupné z: [http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/propedeutika\\_analyza.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/propedeutika_analyza.php)

PATOBIOMECHANIKA A PATOKINESIOLOGIE. Funkční anatomie pohybového aparátu. *Kompendium*. [online].1999 [cit. 16-02-2016]. Dostupné z: <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/kineziologie/anatomie.php>

PATOBIOMECHANIKA A PATOKINESIOLOGIE. Těžiště lidského těla. *Kompendium*. [online]. 1999 [cit. 16-02-2016]. Dostupné z [http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/images/skokan-T\\_mimo\\_telo.gif](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/images/skokan-T_mimo_telo.gif)

PATOBIOMECHANIKA A PATOKINESIOLOGIE. Těžiště lidského těla. *Kompendium*. [online]. 1999 [cit. 16-02-2016]. Dostupné z: <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/pohyb.php>

# **Přílohy**

Příloha č. 1 – Seznam zkratk

Příloha č. 2 – Seznam obrázků a tabulek

## **Příloha č. 1 - Seznam zkratk**

AC = Area of Contact

ACL = Anterior cruciatum ligamentum

AL = Area of Load

AP = antero-posteriorní

APSI = anterior-posterior stability index

AS = area of Support

BI = Balance Index

BS = Base of Support

BSS = Biodex Stability System

CCG = cranio-corpo-grafie

CMP = cévní mozková příhoda

CNS = centrální nervový systém

COG = Center Of Gravity

COM = Center Of body Mass

COP = Center Of Pressure

DK = dolní končetina

EBM = Evidence Based Medicine

EBP = evidence based physiotherapy

Dg. = diagnóza

DNS = dynamická neuromuskulární stabilizace

mm. = muscoli

LBP= Low Back Pain

MLSI = medial-lateral stability index

OSI = overall stability index

SOT = Sensory Organization Test

## **Příloha č. 2 - Seznam obrázků a tabulek**

### **Seznam obrázků**

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1: Těžiště mimo tělo .....   | 15 |
| Obr 2: Graf průběhu posunů COP a COM v čase .....   | 17 |
| Obr. 3: Porovnání ploch opěrné báze .....   | 19 |
| Obr.4: Zobrazení vestibulárního aparátu – polokruhovitě kanálky<br>a blanitý labyrint .....                             | 27 |
| Obr. 5: Hodnocení rovnovážných schopností a posturální kontroly<br>systémem SMART Balance Master, NeuroCom© .....       | 51 |
| Obr.6.: Znázornění průběhu testování pomocí Sensory<br>Organisation Test .....  | 53 |
| Obr.7: Přehled výsledných grafů a informací o funkci posturální<br>kontroly po testování pomocí systému NeuroCom© ..... | 54 |
| Obr. 8: Pyramida důkazů EBM studií .....  | 65 |

### **Seznam tabulek**

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1: Posturografie u muskuloskeletálních poruch ..... | 74 |
| Tab. 2: Posturografie u neurologických poruch .....      | 78 |
| Tab. 3: Posturografie u vestibulárních poruch .....      | 80 |