

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie



Kristýna Pytlíčková

Chůze jako diagnostický marker neurodegenerace
Gait as a diagnostic marker for neurodegeneration

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jan Novák

Praha, 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně 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, 15. 8. 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Janu Novákovi za mnohé cenné připomínky a odborné rady, které mi pomohly k vypracování této bakalářské práce. Také děkuji své rodině a svým blízkým za podporu při studiu.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá popisem vztahu chůze a neurodegenerativních chorob. Začátek práce je věnován obecné definici chůze a faktorům, které se podílejí na její variabilitě. Dále je popsána její struktura, z jakých fází se cyklus chůze skládá a jak tyto jednotlivé fáze vypadají. Následně je nastíněn evoluční aspekt bipedie. Další část se věnuje nervovému řízení motorické práce. Popisuje, jaké oblasti centrální a periferní nervové soustavy jsou do ní zapojeny a jak funguje celá dráha od centrální nervové soustavy, kde vzniká podnět k pohybu, přes nervové dráhy až k periférii, kde je informace o provedení pohybu uskutečněna příslušnou svalovou jednotkou. Poté se práce zabývá jednotlivými metodami využívanými ke kvantifikaci chůze. Ty jsou pro potřeby této práce rozděleny na standardizované, které jsou běžně prováděny v klinickém prostředí, tedy v nemocničních zařízeních nebo laboratorních pracovištích, a na *real-life* měření, jež jsou využívána pro dlouhodobé monitorování v podmínkách každodenního života pacienta. Standardizované testy jsou dále rozděleny na neinvazivní a invazivní podle toho, zda dochází k narušení integrity jedince či nikoliv. Praktická aplikace těchto metod je popsána na čtyřech vybraných neurodegenerativních chorobách. Pozornost je zaměřena na jejich charakteristiky, na to, jaké způsobují změny v chování a v pohybu člověka, a hlavně na jejich vliv na chůzi.

Klíčová slova: bipedie, člověk, neurodegenerativní choroby, chůze, měření

Abstract

This bachelor thesis describes the relationship between gait and neurodegenerative diseases. The beginning of the work is devoted to the general definition of walking and factors that contribute to its variability. The structure of the walk cycle is described and what phases of the cycle look like. Subsequently, the evolutionary aspect of bipedia is outlined. The next part is devoted to the neural control of motor work. It describes which areas of the central and peripheral nervous system are involved in it and how the entire pathway from the central system, where the stimulus to motion is generated, through the nerve pathways to the periphery, where the movement is performed by the muscle unit. Then the thesis deals with individual methods used for quantification of walking. For the purposes of this work, these are divided into standardized ones that are routinely performed in a clinical setting, ie in hospital or laboratory, and real-life measurements, which are used for long-term monitoring in the patient's everyday life conditions. Standardized tests are further divided into non-invasive and invasive depending on whether or not the integrity of the individual is impaired. Practical application of these methods is described on four selected neurodegenerative diseases. Attention is focused on their characteristics, on how they cause changes in human behavior and movement, and especially on their influence on walking.

Key words: bipedalism, human, neurodegenerative diseases, gait, measurement

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Lidská bipední chůze.....	2
2.1	Definice lidské chůze	2
2.2	Struktura chůze a kroku.....	3
3	Evoluce bipedie.....	5
4	Nervové řízení motoriky	8
5	Chůze jako diagnostický marker	11
5.1	Metody měření chůze.....	11
5.2	Testy chůze	15
5.3	Real-life testy	16
6	Vliv neurodegenerativních chorob na chůzi	18
6.1	Parkinsonova choroba	18
6.2	Alzheimerova choroba.....	20
6.3	Huntingtonova choroba.....	21
6.4	Roztroušená skleróza.....	22
7	Závěr	24
8	Seznam použité literatury.....	26
9	Seznam webových stránek	35
10	Seznam obrázků.....	36
11	Seznam tabulek.....	36

1 Úvod

Habituaální bipední chůze je znak, který odlišuje člověka od ostatních primátů. Z pohledu antropologie lze na bipední lokomoci nahlížet jako na důležitou evoluční změnu, díky které došlo k uvolnění horních končetin a rapidnímu rozvoji lidského mozku a kognice (Lovejoy 1988). V této souvislosti lze sledovat i vývoj experimentálních diagnostických metod v oblasti kognitivních a neurodegenerativních onemocnění. Mezi běžně využívané diagnostické metody jsou řazeny standardizované testy chůze (Kirtley 2006). Další způsob měření chůze se provádí pomocí přístrojových metod (Tao et al. 2012a). A často pak dochází i ke kombinaci těchto způsobů měření, čímž je zajištěna vyšší validita a reliabilita (Wildemuth 2009).

V dnešní době je povědomí o neurodegenerativních poruchách větší než v minulosti, a to hlavně díky přesnějším diagnostickým metodám. Výskyt těchto chorob je také vyšší, a to z důvodu prodlužování průměrné délky lidského života. Neurodegenerativní onemocnění se sice neomezují pouze na jedince vyššího věku, ale stáří patří mezi hlavní rizikové faktory (Brown et al. 2005). Další možnou etiologií neurodegenerativních onemocnění může být nadměrný stres, kouření, deprese, dysfunkce endokrinních žláz nebo špatná imunita člověka (Abbott et al. 2003; Brown et al. 2005).

Mezi klinické příznaky neurodegenerativních chorob jsou řazeny například zhoršená koordinace a řízení pohybu (Shulman et al. 2002). Tyto poruchy se mimo jiné odrážejí i na chůzi postiženého člověka, což je využíváno v klinické praxi pro včasnou diagnostiku a sledování progresu onemocnění.

Cílem této práce je popsat současný stav poznání vlivu neurodegenerativních onemocnění na chůzi. Tedy to, jak vypadá chůze zdravého jedince, a jakým způsobem lze chůzi a odchylky od ní měřit. Důležitým aspektem práce bude podrobnější seznámení se s jednotlivými diagnostickými metodami a využití analýzy chůze ve sledování progresu onemocnění. Na příkladu čtyř vybraných neurodegenerativních onemocnění bude popsáno, jakým způsobem se chůze liší od arbitrárně stanovené normy. Pro popis bude vybrána Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba, Huntingtonova choroba a roztroušená skleróza.

2 Lidská bipední chůze

První část bakalářské práce bude věnována pohledu na lidskou bipední chůzi z obecného hlediska, tedy tomu, jak vypadá standardní chůze zdravého dospělého člověka. Lidská chůze však nebude pouze deskriptivně popsána, pozornost bude zaměřena i na evoluční aspekty a neuronální řízení.

2.1 Definice lidské chůze

Chůze je mechanický pohyb, který je využíván velkým množstvím živočichů k přemísťování se z určitého bodu do bodu jiného (Rose a Gamble 2006a). Vychází z kombinace pohybů různých částí těla v prostoru a čase. Jedná se o cyklus střídání fází pohybu nohy a setrvání nohy na podložce, přičemž alespoň jedna noha musí být vždy v kontaktu s podložkou. To odlišuje chůzi od běhu, při kterém je rozlišována další, letová fáze, kdy v určitém okamžiku není ani jedna noha v kontaktu s podložkou (Beauchet a Berrut 2006).

Chůze je velmi variabilní a podmiňuje ji množství faktorů, které se na variabilitě mohou podílet – mezi jednotlivci tedy lze v chůzi pozorovat rozdíly. K těmto faktorům lze zařadit například intersexuální rozdíly, které se projevují i na délce a frekvenci kroků (Hirokawa 1989). Struktura chůze se mění také s přibývajícím věkem (Gabell a Nayak 1984). A odlišnosti se objevují i v případě určitých onemocnění pohybového, oběhového či nervového aparátu – ve srovnání s chůzí zdravého jedince zde pohyb vykazuje jisté odlišnosti. V tomto případě však záleží i na charakteru onemocnění. Nelze tedy tvrdit, že existuje člověk s průměrnou chůzí (Rose a Gamble 2006a).

2.2 Struktura chůze a kroku

Abychom se mohli dostatečně podrobně zabývat patologií chůze, je potřeba pochopit, jak chůze vypadá, jaké části těla jsou do procesu zapojeny a z jakých fází se skládá. Popis struktury chůze bude zaměřen na chůzi zdravého jedince, kdy se odmyslí veškeré možné následky chorob fyzických i psychických. Objektem zkoumání se stane zdravý člověk ve věku, kdy má dobrou fyzickou kondici, a budou zanedbány rozdíly mezi pohlavím.

Proces chůze lze rozfázovat do kroků, které na sebe navazují. Nejprve musí dojít k registraci a aktivaci v centrálním nervovém systému. Tam se vytvoří impuls, jenž prochází do periferního nervového systému v končetinách, kde dojde k aktivaci příslušných svalů a provedení pohybu (Vaughan 2003). Detailnějšímu popisu řízení pohybu centrálním nervovým systémem bude věnována následující kapitola.

Cyklus chůze je definován jako časový interval, v němž je dokončena sekvence pravidelně po sobě jdoucích kroků. V každém cyklu se střídá doba, kdy je v kontaktu s podložkou pouze jedna noha, čemuž se říká jednotná podpora, a dvě doby, kdy jsou v kontaktu s podložkou obě dvě nohy, což je nazýváno dvojitou podporou (Whittle 1993a).

Klasifikace cyklu chůze zahrnuje dvě hlavní fáze, fázi stání a fázi výkyvu. Fáze stání zaujímá 60 % cyklu a fáze výkyvu 40 %. Při bližším pohledu na dělení cyklu chůze lze jeden cyklus rozdělit celkem na šest fází. První fází je takzvaný úder paty jedné nohy do podložky. Tím začíná celý cyklus. Následuje přenos celé váhy na chodidlo, střední fáze, poté zvednutí paty těžší nohy, oddělení prstů nohy od podložky a následuje fáze zhoupnutí. Toto je popis fáze stání a fáze výkyvu jedné končetiny. Při pravidelném opakování a synchronizovaném střídání nohou se jedná o chůzi (Perry a Burnfield 2010a). Jednotlivé fáze cyklu jsou znázorněny na obrázku č. 1.

3 Evoluce bipedie

Podle zažitých představ odlišuje anatomicky moderního člověka od ostatních živočichů plně rozvinutý mozek, to, že je schopen sofistikovaně používat nástroje, nebo způsob, jakým se pohybuje, tedy chůzí po dvou končetinách. Nabízí se zde vztah mezi uvolněním horních končetin a vývojem centrální nervové soustavy. Rozvinutější mozek vede k efektivnějšímu a sofistikovanějšímu způsobu používání rukou, a tedy i nástrojů (Lovejoy 1988).

Jakkoli se jeví, že uvolnění horních končetin a přechod z kvadrupedie k bipedii přináší pouze výhody, jimiž jsou například lepší orientace v prostoru a lepší přehled o predátorech nebo možnost používání horních končetin k různým činnostem, není to pravda. Touto změnou došlo ke značnému zpomalení rychlosti pohybu, což zvýšilo riziko napadení predátory, neboť rychlost při útěku nebyla tak vysoká (Ko 2015). Snížení rychlosti pohybu není jedinou nevýhodou změny chůze. Při přechodu k bipedii prošlo tělo značnými anatomickými změnami. Vertikální postoj pak zavdává příčinu mnoha onemocněním typickým pro anatomicky moderního člověka. Jedná se o bolesti zad způsobené zvýšenou zátěží páteře, křečové žíly, hemeroidy a v porovnání s kvadrupedními lidoopy taky zvýšení pravděpodobnosti tříselné kýly. Tyto potíže jsou většinou zapříčiněny zvýšeným působením gravitační síly na obratle a krevní oběh (Morgan 1993).

Výrazně se změnil tvar pánevních kostí a tím došlo ke změně průběhu porodu. Hlavička dítěte je oválného tvaru, delší v předozadní ose, od týlu k čelu. Porodní kanál, jímž dítě při porodu prochází, má také oválný tvar. Hlavička mláděte samic primátů je pak zhruba stejně velká jako porodní kanál. U žen nemá porodní kanál v průřezu konstantní tvar. Vstup do něj je nejdelší transversálně, v polovině se tato orientace posouvá o 90° a dlouhá osa oválu porodních cest prochází předozadním směrem. To znamená, že aby dvě největší části dětského těla, hlava a ramena, prošly kanálem ve směru jeho nejdelší osy, je potřeba, aby se dítě při průchodu postupně otáčelo. Tento postupný průchod měnícím se tvarem průřezu porodního kanálu činí porod značně obtížnějším oproti ostatním primátům. U samic primátů je mládě během porodu orientováno obličejem dopředu, ke kosti pubické. Pro matku je pak relativně jednoduché mládě chytit a postarat se o prvotní očištění a péči. U žen s přechodem k bipedii došlo ke změně natočení plodu, a to obličejem k zadům matky. Pokud by se matka snažila chytit dítě a vést ho obdobně, jako je tomu u primátů, riskovala by ohnutím páteře plodu proti jeho přirozené křivce. Dále by mohlo dojít k poranění míchy a svalů. Odpovědí na tyto komplikace je v dnešní době nutná asistence při porodu (Rosenberg a Trevathan 2001).

Za prvního předka vykazujícího známky bipedie lze považovat druh *Orrorin tugenensis*, u něhož byly objeveny anatomické změny naznačující chůzi po dvou končetinách (Rose a Gamble 2006c). Byly pozorovány především změny na kosti stehenní, *femuru*, a kosti pánevní, *os coxae*. Na kosti stehenní se dalo pozorovat zvětšení hlavice a tloušťky krčku kyčelního kloubu. Při chůzi po dvou nese celou váhu těla pánev a kyčelní klouby spolu s dolními končetinami. U kvadrupedie je váha těla rozložena rovnoměrně mezi čtyři končetiny (Lovejoy 1988). Na pánvi byly patrné změny ve velikosti lopaty kyčelní kosti (Ruff 1995). Další, již výrazný projev chůze po dvou končetinách se objevuje u rodu *Australopithecus* z doby přibližně před třemi miliony let (Lovejoy 1988).

Co ale vedlo tyto předky ke změně životního stylu? Proč potřebovali uvolnit horní končetiny a začali používat k pohybu pouze dolní dvě? Teorií existuje několik a nelze s určitostí říct, co přesně bylo příčinou přechodu k bipedii.

V současné době nejuznávanější je takzvaná teorie savany (Reed 1997; deMenocal 2004). Ta souvisela s přesunem života z korun stromů na otevřené savany. Vzpřímený postoj tak umožňoval lepší zrakovou orientaci ve vysoké trávě a snadnější přehled o potenciálních hrozcím nebezpečí. Paleoklimatologické evidence a fosilní nálezy poukazují na to, že první bipední hominidé byli stále přizpůsobeni i k životu na stromech (Sigmon 1971).

Velmi diskutovaná teorie se věnuje významu vzpřímeného postoje při krmení. Raní hominidé byli přizpůsobeni k posturální i lokomoční bipedii. Posturální bipedii je označován pouze stoj na dvou končetinách bez kontinuálního pohybu. Lokomoční bipedie pak označuje i pohyb po dvou z místa na místo. Bipední lokomoce nebyla ještě běžně využívána. Podle této teorie byli primáti bipední pouze tehdy, když jedli. U stromů používali horní končetiny proto, aby dosáhli na větve visící nad jejich hlavami (MacNeilage 2007). Velká část, v dnešní době, moderních druhů využívá bipedii jen příležitostně. Například mnoho druhů primátů volí bipední chůzi proto, aby prozkoumalo své okolí nebo při bojích o teritorium (Carrier 2011). Několik druhů stromových primátů volí bipední chůzi pouze při krátkém pobytu na zemi. Na druhou stranu existuje permanentní bipedie neboli tzv. habituální bipedie. Je to druh lokomoce, který zahrnuje pouze pohyb po dvou po celý život jedince. Habituální bipedie, při které dochází ke střídavému zvedání nohou, využívají například lidé a velcí ptáci (Hutchinson a Gatesy 2001).

Následující teorie akcentuje rozdělení rolí u samic a samců. U časných hominidů se objevují známky dělby práce. Samci byli zodpovědní za zajištění životních potřeb samic, zatímco samice se musely starat o potomky. Nutnost jejich péče vyplývala z toho, že potomci se rodili nezralí a imobilní a vyžadovali rodičovskou péči a ochranu (Lovejoy 1981). Důvod nezralosti a neschopnosti okamžité samostatné péče, byl, a u moderního člověka stále je, nedokončený vývoj mozku a s ním spojených schopností (Pierre Pantarotti 2016). Vývoj mozku, učení, osvojení sociálních a rodičovských dovedností vyžadují delší dobu péče matky, aby mohlo dojít ke správnému rozvinutí těchto schopností. Tato teorie předpokládá, že chůze po dvou byla klíčová i pro úspěšné párování a vznikající monogamii. Jelikož pro hominidy nebyl orální transport dostačující, používali uvolněné končetiny k přenosu potravy i práci s nástroji (Lovejoy 1981).

Další známou teorií je termoregulační model. Chůze po dvou končetinách a s ní spojený vzpřímený postoj snižuje plochu povrchu těla vystavenou přímému slunečnímu záření, a tak dochází k lepšímu ochlazení těla. Také při pohybu ve výšce, která je větší než při pohybu po čtyřech končetinách, dochází k lepšímu ochlazení způsobeném prouděním větru (Wheeler 1984; Falk 1990).

Diskutovaná je i teorie vodních primátů. Ta považuje za nejpravděpodobnější místo vzniku bipedie pobřeží řek. Podle ní vedl předky k přechodu ze života v korunách stromů na břehy řek nedostatek potravy a snaha obstarat si jinou alternativu na jejich dně. A protože větší hloubky neumožňovaly pohyb po čtyřech, došlo k napřimění postoje a přechodu k chůzi po dvou. Důkazem správnosti této teorie může být částečná ztráta ochlupení u současného člověka v porovnání s lidoopy. Důvod je logický. Pokud si větší teplokrevný savec potřebuje ve vodě udržet svou tělesnou teplotu, je účinnější tvorba vrstvy tuku pod kůží než vrstva chlupů na kůži, která nemá tak dobrou izolační funkci (Morgan 1982).

4 Nervové řízení motoriky

Řízení chůze a motorických pohybů je poměrně komplexní děj zahrnující mnoho struktur. V této části bude probráno, jak je pohyb končetin řízen nervovou soustavou a jaké struktury jsou do tohoto řízení zapojeny. Popis dráhy zahrnuje centrální a periferní nervovou soustavu a napojení nervových drah na svalová vlákna.

Nejdůležitější strukturou pro řízení úmyslných pohybů je *cortex*, neboli mozková kůra. Přesněji řečeno motorická centra *cortexu*, která jsou sdružována v mozku v oblastech, jež jsou funkčně vysoce propojené. Mluvíme o primárním a sekundárním motorickém *cortexu*. Primární motorický *cortex* je rozdělen na šest vrstev, a pro cílené řízení pohybu je nejdůležitější pátá vrstva, která je tvořena pyramidovými buňkami. Impulzy z primárního motorického centra jsou vedeny právě těmito pyramidovými buňkami, jejichž axony, dlouhé výběžky, tvoří pyramidovou dráhu (Arbib et al. 1998a). Kromě primárního motorického *cortexu* se na řízení pohybu podílejí i oblasti, které k němu přiléhají. Ty se nazývají premotorní. Dělíme je na laterální a mediální. Laterální premotorický *cortex* je důležitý při vykonávání složitých volných pohybů, a mediální se naopak specializuje na iniciaci pohybu na základně vnitřních podnětů (Georgopoulos et al. 1986).

Axony, dlouhé výběžky pyramidových buněk, procházejí od *cortexu*, pak mozkovým kmenem, latinsky *truncus cerebri*, přes *pons Varoli* neboli Varolův most, a splývají na přední straně míchy, kde vytvářejí pyramidové uspořádání prodloužené míchy. Na kaudálním, dolním konci prodloužené míchy se většina axonů kříží a vstupuje do protilehlých laterálních sloupců míchy. Vytvářejí tak laterální kortikospinální dráhu. Ta prochází přímo z *cortexu* a končí v předních rozích šedé hmoty míchy. Zde tvoří synapse neboli spojení s **motorickými neurony** nebo **interneurony** (Lemon 2008).

Interneurony se nacházejí v mozku a míše. Vytvářejí spojení mezi senzoryckými, aferentními neurony, které vedou impulzy ze senzoryckých receptorů do centrální nervové soustavy, a motorickými neurony nazývanými eferentní, jejichž úkolem je vedení impulzů z centrální nervové soustavy do výkonných orgánů, tedy svalů a žláz. Interneurony vytváří synapse pouze s neurony v blízkém okolí (Whittington et al. 2000).

Motorické neurony, nebo taky motoneurony, přímo inervují svaly. Jádra těchto neuronů jsou lokalizována v šedé hmotě předních rohů míchy a v motorických jádrech hlavových nervů mozkového kmene. Spojení motorického neuronu a svalového vlákna se říká nervosvalová ploténka (Pocock a Richards 2006). Existují dva typy motoneuronů, alfa a gama motoneurony. Alfa inervují tzv. extrafuzální svalová vlákna, což jsou ta, která nejsou součástí svalového vřetenka. Generují vzruchy potřebné pro pohyb a držení těla.

Naopak gama neurony inervují intrafuzální vlákna, která jsou zároveň inervována i senzoryckými axony, a ty posílají informace o délce a napětí svalu do mozku a mozkového kmene (Hunt a Kuffler 1954).

Svalové vřetenko obsahuje 8 – 10 intrafuzálních vláken, která jsou uspořádána paralelně s extrafuzálními vlákny. Deformace intrafuzálních vláken způsobuje změnu akčního potenciálu a následnou aktivaci mechanicky ovládaných iontových kanálů aferentních axonů. Aferentní axony jsou takové, které vedou informaci z receptorů do centrální nervové soustavy. Tyto aferentní senzorycké neurony tvoří monosynaptické, excitační spojení s již zmíněnými alfa motoneurony. Monosynaptickým spojením je označováno takové spojení, které se skládá pouze ze dvou buněk. Přes lokální obvodové neurony formují inhibiční spojení s alfa motoneurony antagonistických svalů. Toto propojení se nazývá reciproční inervace. Reciproční inervace má opačné účinky na motoneurony antagonistických svalů a způsobuje jejich relaxaci. Pokud je aktivována skupina agonistů, inhibují se antagonisté, aby nedošlo k současnému stahu obou skupin svalů vedoucímu ke křeči a snížené funkčnosti svalové skupiny.

Motorické neurony jsou řízeny a kontrolovány lokálními obvody v míše a mozkovém kmeni a tyto obvody jsou zase ovlivňovány axony z retikulární formace neboli *formatio reticularis* a vestibulárního jádra, latinsky *nucleus vestibularis*, které jsou součástí mozkového kmene, a taky axony z kortikální oblasti frontálního laloku mozku. *Nucleus vestibularis* je důležitý pro kontrolu axiálního svalstva. Přijímá informace o pozici a úhlovém zrychlení hlavy, a tím koordinuje pohyb. Dále upravuje držení těla rovnováhu na základně informací z vnitřního ucha (Marder a Calabrese 1996). *Formatio reticularis* se nachází v mozkovém kmeni a jedná se o síť nervových jader a vláken. Funkcí má mnoho, například kontrolu kardiovaskulární a dýchací soustavy, ale pro vzpřímený pohyb člověka je nejdůležitějším faktem, že jejím působením je udržován vzpřímený postoj a poloha těla. Slouží k přepojování informací z jiných částí mozku a míchy do dalších oblastí centrální nervové soustavy (Adrian 1941).

Sestupné dráhy z *nucleus vestibularis* a z *formatio reticularis* jsou velmi podobné, obě dráhy končí ve střední oblasti šedé hmoty míchy, kde ovlivňují neurony lokálních okruhů, které řídí axiální a proximální končetinové svalstvo. Axiálním svalstvem jsou označovány svaly hlavy, hrudníku a páteře. Jako proximální svalstvo se označuje takové, které je blíže centrální části těla, tedy trupu (Blessing 1997).

Pomocným motorickým koordinačním systémem jsou bazální ganglia neboli *nuclei basales*. Nacházejí se pod pláštěm *cortexu* a podílejí se na řízení motoriky. Regulují aktivitu vyšších neuronů. Je to velká funkční skupina jader, kterou dělíme na tři hlavní struktury. *Nucleus caudatus* neboli ocasaté jádro, *putamen* a *globus pallidus*. *Nucleus caudatus* a *putamen* tvoří dohromady *corpus striatum* nazývané také jako žíhané těleso a jsou místem připojení vláken vedoucích z *cortexu*. *Globus pallidus* přijímá vstupy z předchozího *corpus striatum* a vysílá vlákna ke střednímu mozku a k *formatio reticularis* mozkového kmene (Mink a Thach 1993; Arbib et al. 1998b).

Důležitou částí centrální nervové soustavy podílející se na řízení pohybu je mozeček, nazývaný také *cerebellum*. Leží pod týlními laloky a přiléhá ke střednímu mozku, k *pons Varoli* a prodloužené míše (*medulla oblongata*). *Cerebellum* neovlivňuje přímo lokální obvody míchy nebo mozkového kmene, ani nižší neurony inervující svaly. Ovlivňuje aktivitu vyšších motorických neuronů. *Cerebellum* můžeme rozdělit do tří částí, které se od sebe liší zdroji nervových vstupů. První část se nazývá *cerebrocerebellum* a ovlivňuje vysoce specializované pohyby, zvláště pak plánování a provádění pohybu. Další částí je *vestibulocerebellum*, které zodpovídá za udržování rovnováhy a držení těla. Poslední částí je pak *spinocerebellum* a zodpovídá za hrubé pohyby nohou při chůzi. Křížení nervových drah v pyramidové formaci znamená, že pravá hemisféra mozku řídí spíše levou část těla, a naopak pravá část mozku řídí levou část těla. Zde tomu tak není. Pravá část *cerebella* koordinuje pravou část těla, a levá naopak levou (Thach 1968; Purves et al. 1992).

5 Chůze jako diagnostický marker

5.1 Metody měření chůze

V posledních letech narůstá význam důležitosti měření a monitorování chůze. V roce 2000 bylo publikováno přibližně 280 článků zaměřujících se na analýzu chůze. Tento počet v následujících letech kontinuálně rostl a v roce 2018 bylo publikováno již okolo 1700 článků zabývajících se touto tematikou (URL4). Z těchto údajů lze odvodit, že zájem o problematiku narůstá a neustále dochází k novým objevům a zdokonalování techniky i zařízení využívaných během měření.

Parkinsonova, Alzheimerova či Huntingtonova choroba jsou řazeny mezi neurodegenerativní choroby, které se mimo jiné odrážejí ve stylu chůze postiženého jedince. Špatná hybnost, pády a nakonec i ztráta samostatnosti v důsledku neschopnosti dobře a plynule se pohybovat jsou projevy těchto onemocnění (Shulman 2010).

Plnému rozvinutí příznaků lze v některých případech předcházet. Existují různé typy motorických testů, díky nimž lze včas rozpoznat primární patologie. Velká část měření posuzuje abnormality v chůzi a rovnováze nebo postoji (Bloem et al. 2016). Testy chůze jsou využívány spíše než k samotnému určení diagnózy především pro její potvrzení a sledování progresu onemocnění v čase (Kirtley 2006).

Pro potřeby práce byly měřicí metody rozděleny na neinvazivní a invazivní. Neinvazivní metody jsou takové, které nevyžadují využití přístrojů a přístrojových metod, jež by mohly pacienta omezovat v pohybu nebo narušovat jeho integritu. Slovo integrita je odvozeno z latinského *integer*, což znamená celistvost, neporušenost (URL1). Je vnitřním smyslem komplexnosti člověka, vycházející z čestnosti a soudržnosti charakteru (Tyreman 2011). Invazivní metodou je naopak míněno to, že snímací senzory jsou připevňovány přímo na tělo pacienta. Při některých vyšetřeních elektromyografie je potřeba zavést tenkou jehlu pod kůži, a tak dochází k narušení integrity jedince.

Primárním neinvazivním způsobem měření, hojně využívaným v klinické praxi, je observace. Ještě před zahájením měření musí být stanoveno, jak, kde a v jakém časovém rámci se bude pozorování provádět. Při observaci je pozornost zaměřena na způsob pokládání chodidla na podložku, rytmicitu pohybu, délku kroku a celkový pohyb horních a dolních končetin včetně pánve a trupu (Perry a Burnfield 2010b). Měření bez snímacích senzorů umožňuje neinvazivní analýzu lidské chůze. Výhodou observace je relativně rychlá příprava měření a fakt, že pacient nemá na těle připevněny žádné senzory, které by ho mohly omezovat v pohybu a tím ovlivňovat výsledky. Hlavní limitací observace, která nezahrnuje další využití obrazové analýzy, je subjektivita.

Záleží na pozorovateli, na jeho postřehu, pozorovacích schopnostech a zkušenostech (Muro-de-la-Herran et al. 2014). Aby se subjektivnímu zkreslení zabránilo, jsou k měření někdy využívány jedna nebo více kamer, případně hloubkové senzory, díky nimž se měření stává dražším, ale zároveň je zajištěna vyšší objektivita měření. Pokud nejsou použity kamery či senzory a pozorování provádí pouze jeden člověk, může dojít k poklesu testové validity a reliability (Wildemuth 2009).

Validita, platnost, určuje, zda testová metoda opravdu měří to, co deklaruje, že měřit má. Zajišťuje, že metoda plně odpovídá svému účelu. Reliabilita, hodnověrnost, je veličina, která udává schopnost metody poskytovat při opakovaném měření podobné výsledky (Bashir et al. 2008). Měření, při němž se aplikuje stejná metoda na více osob, za stejných podmínek a stejným způsobem, je označováno jako standardizované. Cílem standardizace je srovnatelnost pozorování (Helmes et al. 1987).

Tlakově senzitivní podložky jsou další alternativou měření chůze. Tyto způsoby měření jsou v rámci této práce řazeny mezi neinvazivní, protože senzory nejsou primárně umístěny na těle pacienta. Jsou případy, kdy se systémy pro měření tlaku využívají ve spolupráci s dalšími typy monitorovacích systémů, kdy senzory na těle umístěny jsou. Měření probíhá za využití různých druhů tlakových podložek a koberců, dostatečně dlouhých pro zachycení více úderů nohy (Orlin a McPoil 2000). Tyto metody poskytují velké množství výstupních dat, například přehled o rozložení tlaku chodidla na podložku při chůzi. Určují kontaktní plochu chodidla, místa maximálního a minimálního zatížení, délku a šířku kroku, úhel chodidla, symetrii mezi stranami a taky pravidelnost chůze a případné patologie (MacWilliams a Armstrong 2000).

Další způsoby měření jsou označovány jako invazivní v tom smyslu, že na tělo pacienta jsou umístěny snímací senzory, které měří a zaznamenávají hodnoty. Analýzy chůze využívající nositelné senzory jsou finančně přijatelné a pohodlné, a mohou generovat širokou škálu informací (Tao et al. 2012b). K měření jsou využívána komplexní zařízení zahrnující pedometry a aktigrafy, které většinou fungují jako snímací senzory, akcelerometry a gyroskopy (Chen a Bassett 2005a). Dále jsou do této skupiny zařazovány senzory pro elektromyografii (dále EMG). Pro analýzu je možno využít jeden typ sensorů, či jejich kombinaci (Tao et al. 2012b).

Pedometry neboli krokoměry jsou zařízení, jejichž úkolem je měřit počet kroků, případně ušlou vzdálenost (Chen a Bassett 2005a). Pedometry jsou schopny zaznamenávat měřené hodnoty v denních intervalech. Z naměřených hodnot však nelze odečíst intenzitu, frekvenci ani délku trvání aktivity (Corder et al. 2007).

Aktigrafy slouží k měření pohybové aktivity člověka. Toto zařízení sleduje cyklus odpočinku a aktivity člověka (Lockley et al. 1999; Baandrup a Jennum 2015). Jsou ekonomicky přijatelné a zajišťují vysokou spolehlivost měření (Martin a Hakim 2011).

Akcelerometr je typ senzoru, který měří zrychlení. V kombinaci s dalšími senzory (například gyroskop či magnetometr) a analytickými algoritmy může být aplikován právě jako aktigraf nebo pedometr (Loprinzi et al. 2014). V mnoha případech dochází k záměně těchto zařízení a snímacích senzorů, neboť přesná terminologie není daná. Většina akcelerometrů je citlivá na pohyb ve svislé ose, ale některé jsou citlivé na zrychlení v předozadním směru (Corder et al. 2007). Akcelerometrem je možné sledovat aktivitu po dobu několika týdnů, ale mohou být využívány i při krátkodobých zátěžových testech (Chen a Bassett 2005b).

Elektromyografie je elektrodiagnostická technika pro zaznamenávání elektrické aktivity vyvolané kosterními svaly. Slouží k diagnostice onemocnění svalů a poruch nervosvalového přenosu. Zaznamenává elektrický potenciál generovaný svalovými buňkami. Přístroj pro tato měření se nazývá elektromyograf a záznam vytvořený během měření se nazývá elektromyogram (Kamen a Gabriel 2010). Existují dva druhy EMG vyšetření, povrchové a intramuskulární. Povrchové EMG vyhodnocuje svalovou aktivitu z povrchu kůže nad vyšetřovaným svalem. Při měření jsou pacientovi elektrody přikládány na končetinu, nad vyšetřovaný nerv. Měření může být zaznamenáváno párem elektrod nebo složitější řadou více elektrod. Je nutná více než jedna elektroda, protože záznamy zobrazují rozdíl potenciálů mezi dvěma oddělenými elektrodami (De Luca 1997). Intramuskulární EMG je měření, při němž je nutné zavést tenkou jehličku do svalu ke snímání odpovědi. V tomto případě dochází k narušení integrity pokožky. Správné umístění jehlové elektrody je velmi důležité pro přesné znázornění měřeného svalu. EMG je účinnější na povrchových svalech, protože zde nedochází k detekci pouze hlubších svalů, ale i povrchových akčních potenciálů. Za limitaci této metody lze považovat porušení integrity pokožky pacienta a dlouhou dobu přípravy a měření (Soderberg a Cook 1984).

Tab. č. 1 – Souhrn výhod a limitací neinvazivních a invazivních metod měření

		VÝHODY	LIMITACE
NEINVAZIVNÍ			
observace		<ul style="list-style-type: none"> - zkrácená doba přípravy - není ovlivněna nositelnými senzory (Perry a Burnfield 2010b) 	<ul style="list-style-type: none"> - subjektivita - zkušenosti pozorovatele - při práci více lidí možný problém s validitou a reliabilitou (Wildemuth 2009)
tlakové koberce a podložky		<ul style="list-style-type: none"> - velké množství výstupních dat - chůze není ovlivněna nositelnými senzory (Orlin a McPoil 2000) 	<ul style="list-style-type: none"> - finančně nákladné
INVAZIVNÍ			
nositelná měřicí zařízení	pedometry	<ul style="list-style-type: none"> - finančně přijatelné - snadno nositelné (Chen a Bassett 2005b) 	<ul style="list-style-type: none"> - nelze měřit intenzitu, frekvenci a délku trvání aktivity (Corder et al. 2007)
	aktigrafy	<ul style="list-style-type: none"> - ekonomicky přijatelné - snadno nositelné 	<ul style="list-style-type: none"> - riziko nesprávného zpracování dat (Martin a Hakim 2011)
EMG		<ul style="list-style-type: none"> - poskytuje detailní informace o zapojení jednotlivých svalů - v konkrétních případech neuromuskulárních poruch je nejsenzitivnější metodou (Erik St&berg 1979) 	<ul style="list-style-type: none"> - narušení integrity povrchu pokožky při vpichu elektrody do svalu - dlouhá doba přípravy a měření (Soderberg a Cook 1984)

5.2 Testy chůze

Jedná se o standardizované způsoby vyšetření, které se běžně využívají v klinické praxi (Kirtley 2006). Nejčastěji využívanými testy chůze jsou *Timed Up and Go Test* (dále *TUG*) (Podsiadlo a Richardson 1991), *Six Minute Walk Test* (dále *6-MWT*) (Donald Redelmeier 1997), *Two Minute Walk Test* (McGavin 1976) a *Ten Meter Walk Test* (Martin J Watson 2001). Výhodou těchto testů je, že se dají snadno provést a nejsou k nim potřebné žádné speciální přístroje, což metody činí ekonomicky dostupnými (Kirtley 2006).

TUG test slouží k měření rychlosti chůze a rovnováhy pacienta. Zajišťuje vysokou spolehlivost, je ekonomicky přijatelný a časově efektivním způsobem zhodnotí celkovou funkční mobilitu. K tomuto měření se běžně používá židle s opěradlem a předem vyměřená dráha dlouhá 3 metry, kterou pacient musí projít. Měření začíná, když pacient, usazený na židli a opřený o opěradlo, vstane. Musí ujít vyměřenou vzdálenost, na konci se otočit a vrátit zpět. Měření končí ve chvíli, kdy pacient opět usedne na židli (Podsiadlo a Richardson 1991).

Dalším standardizovaným způsobem měření je *6-Minute Walk Test*. Byl vytvořen pro měření pohybové kapacity a vytrvalosti. Oproti předcházejícímu testu, kdy je pozornost zaměřena hlavně na to, jakým způsobem se člověk pohybuje a jak se zvedá ze židle, je tento test spíše vytrvalostní (Enright 2003). Cílem testování je změřit ušlou vzdálenost za dobu 6 minut (Donald Redelmeier 1997). Nevýhodou testu je nutnost přesně vymezeného prostoru, což v nemocničních zařízeních není vždy možné, a proto se často využívají různé tělocvičny spojené s fyzioterapeutickými jednotkami. Během měření je pacientovi povoleno používat kompenzační pomůcky, pokud je to nezbytně nutné, ale test musí vykonat sám, bez pomoci jiné osoby. Při měření je potřeba počítat s faktory, které mohou výsledky zkreslovat. Mezi tyto faktory řadíme například výšku a pohlaví. Také starší lidé mají obvykle kratší výslednou ušlou vzdálenost, mimo jiné kvůli sníženému zastoupení svalové hmoty (Enright 2003).

Odlišnou variantou testu je *Two Minute Walk Test*. Je určen pro pacienty, kteří nejsou schopni chodit po dobu celých 6 minut, proto se doba měření zkracuje na 2 minuty. Vlastnosti i postup měření jsou shodné s testem *6-MWT* (Johnston et al. 2017).

Ten Meter Walk Test je využíván k měření maximální rychlosti, případně běžně preferované rychlosti chůze ve vymezené vzdálenosti 10 metrů. Pro toto měření se využívá vyměřená dráha dlouhá celkem 20 metrů, která zahrnuje 5 metrů pro zahájení chůze pacienta, poté deset metrů pro vlastní měření a dalších 5 metrů pro ukončení chůze, kdy už pacient měřen není. Ne vždy je možné vymezit dráhu dlouhou 20 metrů a proto existují i kratší varianty s délkou 3, 4 a 6 metrů (Peters et al. 2013).

Toto měření by mělo probíhat bez asistence druhé osoby, kompenzační pomůcky jsou zde povoleny (Martin J Watson 2001). Tato metoda je jednoduchá, nenákladná a praktická pro funkční hodnocení potřebné v klinické praxi (Eden et al. 2018).

5.3 Real-life testy

Chůze je v každodenním životě ovlivněna velkým množstvím faktorů. Jedním z nich může být například prostředí, v němž se člověk pohybuje. Záleží i na účelu, za kterém je chůze prováděna. Například zda se jedná o procházku, chůzi do schodů nebo rychlou chůzi. Také je důležité, jestli jsou při chůzi používány kompenzační pomůcky (berle, hole, chodítka apod.) (J. M. Van Ancum et al. 2019).

V předchozí kapitole byly uvedeny standardizované testy chůze. Ve většině případů probíhá měření v nemocnicích nebo laboratořích. Díky standardizaci testů lze zkoumanou populaci dobře porovnávat (Helmes et al. 1987). Nevýhodou těchto testů je, že měření nemusí přesně odpovídat tomu, co pacienta ovlivňuje v jeho každodenním životě. V laboratorních podmínkách se měření provádí nejčastěji za pomoci specializovaného vybavení pro přesnější zjištění poruch a jejich případnou kvantifikaci. Pacienti jsou na chůzi plně soustředěni a motivováni k co nejlepším výkonům. Často se tak nezíská skutečný obraz pacientovy chůze v reálném životě a může docházet ke zkreslování výsledků měření (Silvia Del Din, 2016).

Pro získání reálnějších hodnot jsou využívány nositelné senzory. Jejich dostupnost nabízí možnost získání nových poznatků důkladným vyhodnocením charakteristik a deficitů chůze při dlouhodobém měření (Fabio A. Storm^{1,2} et al. 2018). Umožňují posunutí analýzy chůze od tradičního měření v laboratoři do podmínek každodenního života (Paola Tamburini et al. 2017).

Pro posouzení, zda a jak je variabilita a stabilita chůze neboli schopnost udržet vzpřímenou polohu těla, ovlivněna změnou prostředí a změnou zkušebních podmínek, byl analyzován vzor chůze zdravých dospělých jedinců. Předpokladem bylo, že se stabilita chůze příliš nezmění, zatímco variabilita se zvýší při přechodu z vnitřních prostor do vnějšího prostředí (Riva et al. 2014). Výsledky měření předpoklady potvrdily. Indexy variability mohou být ovlivněny změnou testových podmínek, ale indexy stability změnou testových podmínek ztlačně ovlivněny nejsou (Tamburini et al. 2018).

Sledování přirozené lidské chůze je nezbytné například pro kvantifikaci progresu onemocnění, sledování účinků léčby nebo změn výkonnostních biomarkerů v profesionálním sportu. Nicméně vývoj praktických a spolehlivých technologií využívaných pro sledování průběžného fungování v každodenním životě je stále otevřenou výzvou. V současné době jsou prozkoumány tři oblasti metod. Metody založené na měření kinematických dat, na měření plantárního tlaku a na přímém měření chůze. Cílem vývoje těchto technologií je hlavně zmenšení velikosti a snížení ceny nositelných senzorů, které slouží pro dlouhodobá měření. Také je důležité zvýšit trvanlivost senzorů tlakových vložek a robustnost i všestrannost metod přímo měřících chůzi (Shahabpoor a Pavic 2017).

K nejběžněji využívaným nositelným senzorům jsou řazeny aktigrafy a akcelerometry. Aktigrafy vykazují vysokou přesnost měření kroků (Brian M. Sandroff 2014). Akcelerometry nabízejí možnost získat validní, objektivní a reliabilní data o mobilitě v každodenním životě (Michaela Schimpl 2011). Umožňují například hodnocení rychlosti chůze, ušlou vzdálenost nebo počet kroků (Domien Gijbels et al. 2010).

Vedle různých měřících zařízení zabudovaných v telefonech nebo aktibeltech či senzorů v tlakových vložkách bot existují i aplikace do chytrých telefonů, jejichž prostřednictvím lze získávat plnohodnotná data o stavu pacienta. Například *Floodlight Open* je studie, která by mohla umožnit lékařům, vědcům i pacientům monitorovat symptomy roztroušené sklerózy v průběhu času pomocí aplikace v chytrých telefonech. Tato aplikace měří schopnost provádět jednoduché úkoly a jejím cílem je monitorovat dopady roztroušené sklerózy na mozek, ruce i tělo. Tato studie proto posouvá i výzkum aktivního měření a pasivního monitoringu. Díky *Floodlight Open* může člověk zapojený do studie sledovat své výsledky, sdílet je s lékaři a vědci, a popřípadě i konzultovat s vlastním lékařem. V aplikaci najdeme čtyři okruhy úkolů. Ty jsou zaměřeny například na jemnou motoriku rukou, některé měří rychlost zpracování informace, jiné zase změny v rychlosti a stabilitě pacienta, a poslední okruh je zaměřen na monitorování změn pohybu během dne. Tyto úkoly byly navrženy a vytvořeny lékaři, aby člověk využívající tuto aplikaci mohl sledovat změny v průběhu delšího časového období sám (URL2).

6 Vliv neurodegenerativních chorob na chůzi

Předchozí kapitoly byly zaměřeny na obecné aspekty chůze, na faktory, které ji ovlivňují, a na způsoby měření, jež se využívají k monitorování chůze a k rozpoznávání jejích abnormalit. Následující kapitoly budou zaměřeny na popis jednotlivých vybraných neurodegenerativních chorob, jak se jednotlivé nemoci odrážejí v chování a pohybu postižených pacientů a jak se u nich liší chůze od zdravého člověka.

6.1 Parkinsonova choroba

Parkinsonova choroba patří mezi onemocnění centrálního nervového systému, jež postihuje především motorické neurony (Goetz 2011). Zasahuje až 70 % neuronů produkujících dopamin, který je důležitým neuropřenašečem nervových vzruchů (Bertler a Rosengren 1959).

Hlavní charakteristikou tohoto onemocnění je buněčná smrt v oblasti *nuclei basales* mozku. Z anatomického hlediska jsou *nuclei basales* jakoukoliv strukturou šedé hmoty na bázi mozkových hemisfér, ale zahrnují také vzájemně propojená subkortikální jádra neboli *nuclei subcorticales*, a to včetně struktur, jimiž jsou *corpus striatum*, *globus pallidus* a *nucleus subthalamicus*. Projekční cíle těchto struktur jsou především *thalamus* a motorická centra mozkového kmene (Braak a Del Tredici 2008; Obeso et al. 2008). *Nuclei basales* jsou spojena s ostatními oblastmi mozku pěti různými dráhami, které označujeme jako motorické, okulo-motorické, asociativní, limbické a orbitofrontální. Názvy poukazují na oblasti, jež jsou těmito dráhami řízeny (Obeso et al. 2008). Tyto všechny pak mohou být zasaženy Parkinsonovou chorobou, což vede k mnoha příznakům onemocnění.

Parkinsonova choroba se projevuje ztrátou nemotorických i motorických funkcí (Shulman et al. 2002). K projevům nemotorického rázu jsou řazeny neuropsychiatrické poruchy, které zahrnují například změny chování, nálady a myšlení, ale také poruchy spánku a poškození smyslů (Weintraub et al. 2004). Pokud se budeme zabývat motorickými dysfunkcemi způsobenými touto chorobou, pak je potřeba zaměřit se na čtyři hlavní symptomy, jimiž jsou tremor neboli neúmyslný svalový třes, zpomalení rychlosti pohybu nazývané bradykineze, ztuhlost a nestabilita (Benecke et al. 1986).

Tremor neboli nekontrolovatelný svalový třes je typickým příznakem Parkinsonovy choroby. Bývá jednostranný a téměř vždy je výrazný na distálních částech končetin. U pacientů postižených tímto onemocněním se může objevovat i třes rtů, brady nebo dolních končetin. Naopak se zde neobjevuje třes hlasu nebo hlavy (Shulman et al. 1996). Kromě klidového třesu trpí mnoho pacientů s Parkinsonovou chorobou také posturálním tremorem, který může být prvním projevem onemocnění a je výraznější a více omezující než klidový třes (Zetusky et al. 1985).

Bradykineze patří k charakteristickým klinickým projevům této nemoci. Je typickým znakem poruchy bazálních ganglií (*nuclei basales*), ale může se objevovat i u jiných onemocnění, například u lidí trpících depresemi. Bradykineze zahrnuje potíže s plánováním, zahájením a prováděním pohybu. Prvotním projevem je převážně to, že pacient pomaleji vykonává činnosti běžné v každodenním životě (Cooper et al. 1994; Giovannoni et al. 1999).

Tyto poruchy jsou spojeny s dalšími abnormalitami projevujícími se při chůzi. Při vykonávání složitějších úkonů, jako je například otáčení nebo plnění jiných motorických či kognitivních úkolů, se pacienti setkávají s potížemi (Benecke et al. 1986). Pro diagnostiku závažnosti onemocnění byly u pacientů trpících Parkinsonovou chorobou provedeny tzv. *Dual-Task* testy. Ty vyžadují, aby měřený subjekt vykonával dva úkoly současně (Ebersbach et al. 1995). Předpokládá se, že vysoce náročný primární úkol, v tomto případě například kognitivní nebo motorický, zabere dostatek pracovní schopnosti a pozornosti měřeného pacienta, a z tohoto důvodu je snížen výkon při plnění sekundárního úkolu, tedy při chůzi. *Dual-Task* test může být využit například k vyhodnocení úrovně automatizace nebo výkyvů pozornosti při pohybu. Subjekty byly měřeny během *Dual-Task* testu a pro kontrolu i během tzv. *Single-Task* testu, kdy neplnily žádný jiný úkol, pouze chůzi. Účastníci byli poučeni, aby chodili vlastním tempem a soustředili se na primární úkol. Nejprve byla zaznamenána pouze chůze bez plnění dalších úkolů, ty byly zadány posléze (David L Wright, Tammy L Kemp 1992).

Nejdříve musel subjekt opakovat náhodně vybraná čísla, jež mu byla předčítána examínátorem. Následujícím úkolem bylo rozepínat a zapínat knoflík kabátu, který měl pacient za chůze na sobě. Rychlost se během těchto dvou úkolů markantně nezměnila. Z toho vyplývá, že motorické i kognitivní úkoly mají na chůzi relativně stejný efekt. Postižení Parkinsonovou chorobou je komplexní, a protože člověk vynakládá různé druhy pozornosti při plnění odlišných úkonů, nezáleží na tom, zda se soustředí na motorický, či kognitivní úkol (Ebersbach et al. 1995).

Všechny projevy Parkinsonovy choroby společně s častými pády (Farombi et al. 2016) a tzv. *freezingem* objevujícím se při chůzi (Lamberti et al. 1997) značně ztěžují pacientům trpícím tímto postižením každodenní život. *Freezing* je klinický fenomén, který je charakteristický krátkými epizodami chůze, během nichž není pacient schopen udělat krok nebo dělá extrémně krátké kroky. K tomuto fenoménu dochází převážně při zahájení chůze nebo při otáčení se (Giladi et al. 1997).

Nestabilita a abnormality (například právě *freezing*) projevující se při chůzi vedou k častějším pádům, které jsou příčinou zranění a narůstajícího strachu z dalších pádů. Tato skutečnost může mít na pacienta další dopad. Pacient se ze strachu z pádu bojí chodit, a to způsobuje snížení kvality života člověka, sociální izolaci nebo také problémy se zažíváním z důvodu nehybnosti (Farombi et al. 2016). Všechny tyto potíže jsou příčinou rychlejšího progresu onemocnění nebo deprese (de Boer et al. 1996; Bloem et al. 2004).

6.2 Alzheimerova choroba

Alzheimerova choroba patří mezi chronické neurodegenerativní onemocnění charakteristické ztrátou neuronů a nervových synapsí v mozkové kůře a přiléhajících oblastech. Jsou pro ni typické degenerativní změny v některých oblastech mozku, například v temporálním a parietálním laloku a ve frontálním *cortexu*. Degenerace těchto oblastí může být předpokladem pro rozvoj demence, která je s Alzheimerovou chorobou spojena (Braak et al. 2011).

Onemocnění doprovázejí tři skupiny symptomů. Do první jsou řazeny například potíže s řečí, ztráta paměti nebo schopnosti plánování složitějších úkonů. Druhá skupina zahrnuje psychické poruchy a poruchy chování. Do ní patří deprese nebo halucinace. Do třetí skupiny spadají problémy s aktivitami v každodenním životě, například se řízením vozidla nebo oblékáním (Burns et al. 1990).

Dalším charakteristickým symptomem u pacientů s Alzheimerovou chorobou je porucha chůze, a to již v prvotních stádiích nemoci (Tangen et al. 2017). K potvrzení rozdílnosti chůze u zdravého jedince a pacienta trpícího Alzheimerovou chorobou byla v rámci několika měření porovnána chůze skupiny pacientů staršího věku trpících senilní demencí Alzheimerova typu se skupinou zdravých lidí stejného věku a pohlaví (Henriet Visser 1983).

Během testování byla chůze hodnocena pomocí *Ten Meter Walk Test*. Tato metoda je jednoduchá a snadno využitelná v praxi. Během ní bylo zaznamenáváno množství kroků, počet zastávek, rychlost chůze a kadence neboli počet kroků za minutu. Dále byl proveden test *TUG* (Novaes et al. 2011). Při provádění *Ten Meter Walk Test* byly zaznamenány drobné rozdíly mezi skupinami pacientů a zdravými jedinci v rychlosti chůze a délce kroku. Pacienti s Alzheimerovou chorobou vykazovali nižší rychlost chůze a kratší délku kroku (Nadkarni et al. 2009; Gras et al. 2015). Během *TUG* testu měla skupina pacientů s Alzheimerovou chorobou výrazně horší výsledky, jež se lišily především dobou, za jakou byl test proveden, a počtem chyb zaznamenaných v průběhu měření (Gras et al. 2015; Ansai et al. 2017).

6.3 Huntingtonova choroba

Huntingtonova choroba je autozomálně dominantní neurodegenerativní onemocnění, sledované geny se tedy nacházejí na nepohlavních chromozomech, tzv. autozomech. K projevu nemoci stačí zdědit pouze jednu alelu. Sledovaný znak se projevuje jak u heterozygotů, tak u dominantních homozygotů. V případě Huntingtonovy choroby je pravděpodobnost přenosu na obě pohlaví stejná (Myers 2004). Postihuje především jedince středního věku, avšak porucha se může objevit kdykoliv v období mezi dětstvím a stářím (Francis O Walker 2007).

Tuto chorobu způsobuje dysfunkce a pozdější nekroza neuronů, především v oblastech *cortexu* a *corpus striatum*, které zodpovídají za koordinaci pohybu. Jedná se o progresivní poruchu s odlišnými fenotypy, včetně chorey, dystonie, nekoordinace pohybů, potíží s chováním a poklesu kognitivních funkcí (URL3). Chorea je onemocnění nervového systému, které se projevuje trhavými a nepravidelnými mimovolnými pohyby různých částí těla. Obvykle dochází k zesilování těchto pohybů při řeči, emocích a mobilitě těla. Chorea může být v počátcích vnímána spíše jako všeobecný neklid, drobné, neúmyslně iniciované nebo nedokončené pohyby, případně jako zpomalené trhavé pohyby očí (Hermann a Walker 2015). Termín dystonie se používá při popisu syndromu, který je charakteristický přetrvávajícími svalovými kontrakcemi, jež způsobují trvalé zkroucení a abnormální držení postižených částí těla (Agostino et al. 1992).

V prvotních fázích choroby se objevují poruchy nálady nebo duševní potíže. Poté následuje špatná koordinace pohybu a nestabilní chůze. Při postupu nemoci se fyzické schopnosti zhoršují, až se pro pacienta stane koordinovaný pohyb velmi obtížným a začne mít problémy s řečí (Dayalu a Albin 2015). Postupně dochází k výraznému zhoršování kognitivních schopností. Obzvláště pak jsou ovlivněny výkonné funkce jako plánování, abstraktní myšlení, iniciování vhodných akcí a inhibice akcí nevhodných. S dalším progresem onemocnění dochází ke ztrátě paměti. Kognitivní funkce se neustále zhoršují a postupem času se rozvíjí demence. V případě Huntingtonovy choroby se jedná o subkortikální demenci, na rozdíl od kortikální demence u Alzheimerovy choroby (Vonsattel et al. 1985).

Problémy s chůzí se mohou objevit již v raných stádiích choroby. Motorické symptomy, jako je chorea nebo bradykineze, mohou narušit rovnováhu a chůzi, a tím přispívají k pádům. Bradykineze může způsobit zpomalení nebo nevhodné provedení kroku a jeho snížení, což způsobuje zakopávání při chůzi (Bilney et al. 2005; Pyo et al. 2017). Pro pochopení změn chůze u pacientů s Huntingtonovou chorobou byly zkoumány asociace mezi parametry chůze a klinickými funkcemi, a to pomocí *Unified Huntington's Disease Rating Scale (UHDRS)* neboli sjednocené hodnotící stupnice Huntingtonovy choroby.

Účastníci měření byli vybráni podle věku, výšky, váhy a na základě závažnosti onemocnění (Huntington study group 1996). Časové a prostorové charakteristiky chůze byly měřeny tlakově senzitivním kobercem.

Do časových charakteristik řadíme kadenci, rychlost chůze, procentuální zastoupení jednonásobné a dvojnásobné podpory nebo dobu švihu a postoje, obojí opět vyjádřeno v procentech. K prostorovým charakteristikám řadíme délku kroku. Celkem bylo změřeno deset cyklů chůze, z nichž se vypočítaly průměry. Většina parametrů se u pacientů a zdravých jedinců výrazně lišila. Rychlost chůze pacientů byla výrazně nižší (Benedetti et al. 1998). Naopak kadence měla u obou skupin podobné hodnoty. Snížena byla také doba švihu, která zaujímala menší procentuální zastoupení v rámci cyklu chůze oproti zdravému jedinci. Naopak doba stání vzrostla (Pyo et al. 2017).

6.4 Roztroušená skleróza

Jedná se o zánětlivé onemocnění, při němž jsou poškozeny myelinové pochvy neuronů v mozku a míše. Myelinové pochvy jsou v centrální nervové soustavě tvořeny oligodendrocyty a zajišťují snadnější a rychlejší přenosy impulsů mezi nervovými buňkami (Saab a Nave 2017). Částečně demyelinizované axony nemohou přenášet rychlé proudy impulsů (Hartline 2008). Zpočátku bývá poškození přechodné a dochází k opětovné remyelinizaci. Časný průběh nemoci je tedy charakterizován epizodickými neurologickými dysfunkcemi, z nichž se pacient může zotavit. Postupem času začnou být patologické změny dominantní. Dochází ke zvýšení aktivity mikrogliaálních buněk, která je spojená s rozsáhlou chronickou degenerací nervové tkáně (Compston a Coles 2008).

Mikrogliaální buňky jsou považovány za nejcitlivější senzory reagující na patologie v mozku. Komunikují přes signální dráhy s neurony, makroglie a buňkami imunitního systému. Při jakékoliv detekci patologie či dysfunkce mozku dochází k aktivaci mikroglie – v takovém stavu migrují přímo do místa poranění. Následně dochází k proliferaci a fagocytóze okolních poškozených buněk (Kettenmann et al. 2011).

Roztroušená skleróza se obvykle objevuje ve věku od 20 do 50 let. Pacienti trpící roztroušenou sklerózou mohou mít různorodé neurologické symptomy, nejčastěji trpí autonomními, motorickými a smyslovými problémy, především zrakovými (Compston a Coles 2008). Symptomy se liší jak u jednotlivců, tak ze dne na den nebo z hodiny na hodinu u jednoho člověka (Fay a Boninger 2002; Morris et al. 2002).

Specifita symptomů závisí na tom, kde se léze v nervovém systému nachází. Může se jednat o pocity brnění, svalovou slabost, potíže s pohybem, problémy s mluvením nebo polykáním, akutní nebo chronické potíže s močovým měchýřem nebo střevy. Často se objevují potíže se zrakem – dvojitě vidění nebo nystagmus (Milo a Kahana 2010). Nystagmus je nedobrovolný kmitavý pohyb očních bulbů, který může vést ke sníženému nebo omezenému vidění (Tusa 1999).

Mezi motorické symptomy jsou řazeny slabost, ataxie a spasticita. Nejčastěji jsou postiženy dolní končetiny a tím je ovlivněna především chůze (Compston a Coles 2008). Ataxie se projevuje nesouměrností a špatnou koordinací pohybů (Fogel et al. 2014). Spasticita znamená zvýšené napětí kosterních svalů a svalů vnitřních orgánů (Westerkam et al. 2011).

Při sledování chůze pacientů postižených roztroušenou sklerózou byly u všech zjištěny abnormality. Rychlost volné chůze se snížila z důvodu menší délky kroku, a cyklus chůze byl tak oproti hodnotám zdravých jedinců podstatně delší. Výrazné změny byly pozorovány i ve vzoru chůze (MG Benedetti 1999). Ve srovnání se zdravými jedinci pak mají pacienti snížený i rozsah pohybu kotníku, kolene a kyčle (Gehlsen et al. 1986).

7 Závěr

Hlavním aspektem práce bylo seznámení se s diagnostickými metodami a testy, které lze využívat k analýze chůze. Chůzi lze měřit pomocí motorických testů a přístrojových metod. Ty byly v této práci rozděleny do dvou skupin, neinvazivních a invazivních. Nejčastěji využívaný neinvazivní způsob je observace neboli sledování. Pro zajištění validity a reliability jsou při měření využívány kamery a pozorování provádí více lidí. Dále do skupiny neinvazivních metod patří měření tlakově senzitivními podložkami. Ty poskytují velké množství výstupních dat a lze u nich zaznamenat detailnější parametry než u pouhého pozorování, ale na druhou stranu je tento způsob finančně náročný. Mezi invazivní monitoring jsou řazeny některé senzory, například pedometry, akcelerometry nebo aktigrafy, které jsou snadno dostupné a poměrně levné. Jejich nespornou výhodou je rovněž to, že stejné senzory bývají zabudovány v telefonech či sportovních hodinkách. Díky tomu lze pacienty sledovat dlouhodobě a v jejich přirozeném prostředí, a nedochází tak ke zkreslování výsledků, jako tomu může být v laboratoři či nemocnici. Nevýhodou měření v nemocnici je, že pacient se na svou chůzi plně soustředí a výsledky nemusejí přesně odpovídat realitě. Další nevýhodou měření mimo přirozené prostředí je, že neprobíhá dlouhodobě. Za invazivní metodu lze považovat také elektromyografii, která se využívá pro detailní monitorování zapojení jednotlivých svalů.

Z velkého množství testů využívaných pro měření chůze byly vybrány čtyři, v klinické praxi nejvyužívanější. Jsou to *Timed Up and Go Test*, *Six Minute Walk Test*, *Two Minute Walk Test* a *Ten Meter Walk Test*. Výhodou těchto testů je, že jsou snadno uskutečnitelné a pro jejich provedení není potřeba speciálních přístrojů.

Na příkladu čtyř onemocnění – Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba, Huntingtonova choroba a roztroušená skleróza – byly popsány abnormality v motorických projevech, a zejména jejich vliv na chůzi. Všechna tato onemocnění se projevují poruchami nemotorických i motorických funkcí.

U Parkinsonovy choroby patří mezi dysfunkce nemotorického rázu hlavně změny v chování a náladě, potíže s řečí, poruchy spánku a smyslové vnímání. K motorickým dysfunkcím jsou pak řazeny tremor, bradykineze, ztuhlost, nestabilita, časté pády a *freezing*.

V případě Alzheimerovy choroby k poruchám nemotorických funkcí patří potíže s pamětí, chováním a poruchy jazykových schopností. Dále pak ztráta kognitivních schopností a neschopnost plánovat složitější úkony. Na chůzi se toto onemocnění projevuje hlavně snížením rychlosti chůze a zkrácením délky kroku.

Mezi nemotorické příznaky Huntingtonovy choroby patří například potíže s chováním nebo pokles kognitivních funkcí. K motorickým poruchám jsou řazeny hlavně chorea, dystonie a neschopnost koordinace pohybu. Při chůzi dochází u pacientů s touto chorobou ke snížení rychlosti a doby švihů, a nárůstu doby stání v rámci jednoho cyklu chůze.

Roztroušená skleróza se projevuje hlavně svalovou slabostí, problémy s mluvením a polykáním, zrakovými potížemi nebo poruchami kognitivních funkcí. Dalšími příznaky choroby jsou slabost, ataxie a spasticita. Toto onemocnění je charakteristické ataky neboli záchvaty (náhlé projevy symptomů) a postupnou celkovou ztrátou hybnosti. Na chůzi se projevuje snížením rychlosti, a to z důvodu zkrácení délky kroku, a celý cyklus chůze je výrazně delší než u zdravých jedinců.

Obecně se chůze pacientů lišila od kontrolní skupiny zdravých jedinců ve více parametrech. Největší odchylky byly pozorovány v rychlosti chůze, délce kroku, kadenci a frekvenci kroků. Dle zjištění této práce se nejspecifičtěji na chůzi projevuje Parkinsonova choroba, pro niž je charakteristický *freezing* a neschopnost ukončit prováděný pohyb. Méně specificky se projevuje Alzheimerova choroba, která je typická častými pády a zpomalením chůze.

8 Seznam použité literatury

- ABBOTT, Robert D., G. WEBSTER ROSS, Lon R. WHITE, Wayne T. SANDERSON, Cecil M. BURCHFIEL, Michael KASHON, Dan S. SHARP, Kamal H. MASAKI, J. David CURB a Helen PETROVITCH, 2003. Environmental, life-style, and physical precursors of clinical Parkinson's disease: recent findings from the Honolulu-Asia Aging Study. *Journal of Neurology* [online]. 250(0), 1–1. ISSN 0340-5354, 1432-1459. Dostupné z: doi:10.1007/s00415-003-1306-7
- ADRIAN, E. D., 1941. Afferent discharges to the cerebral cortex from peripheral sense organs. *The Journal of Physiology* [online]. 100(2), 159–191. ISSN 00223751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.1941.sp003932
- AGOSTINO, R., A. BERARDELLI, A. FORMICA, N. ACCORNERO a M. MANFREDI, 1992. Sequential arm movements in patients with Parkinson's disease, Huntington's disease and dystonia. *Brain* [online]. 115(5), 1481–1495. ISSN 0006-8950, 1460-2156. Dostupné z: doi:10.1093/brain/115.5.1481
- ANCUM Jeanine M. Van, Kimberley S. Van SCHOOTEN, Nini H. JONKMAN, Bas HUIJBEN, Rob C. Van LUMMEL, Carel a G.C. MESKERS, Andrea B. MAIER, Mirjam PIJNAPPELS, 2019. *Gait speed assessed by a 4-meter walk test is not representative of daily-life gait speed in community-dwelling adults*. 2019.
- ANSAI, Juliana H., Larissa P. ANDRADE, Paulo G. ROSSI, Anielle C.M. TAKAHASHI, Francisco A.C. VALE a José R. REBELATTO, 2017. Gait, dual task and history of falls in elderly with preserved cognition, mild cognitive impairment, and mild Alzheimer's disease. *Brazilian Journal of Physical Therapy* [online]. 21(2), 144–151. ISSN 14133555. Dostupné z: doi:10.1016/j.bjpt.2017.03.010
- ARBIB, Michael A., Péter ÉRDI a János SZENTÁGOTHAJ, 1998a. *Neural organization: structure, function, and dynamics*. Cambridge, Mass: MIT Press. ISBN 978-0-262-01159-4.
- BAANDRUP, Lone a Poul JENNUM, 2015. A validation of wrist actigraphy against polysomnography in patients with schizophrenia or bipolar disorder. *Neuropsychiatric Disease and Treatment* [online]. 2271. ISSN 1178-2021. Dostupné z: doi:10.2147/NDT.S88236
- BASHIR, Muhammad, Muhammad Tanveer AFZAL a Muhammad AZEEM, 2008. Reliability and Validity of Qualitative and Operational Research Paradigm. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research* [online]. 4(1), 35. ISSN 2220-5810, 1816-2711. Dostupné z: doi:10.18187/pjsor.v4i1.59
- BEAUCHET, Olivier a Gilles BERRUT, 2006. Marche et double tâche : définition, intérêts et perspectives chez le sujet âgé. *Psychol NeuroPsychiatr Vieil*. 4, 11.
- BENECKE, R., J. C. ROTHWELL, J. P. R. DICK, B. L. DAY a C. D. MARSDEN, 1986. Performance of simultaneous movements in patients with Parkinson's disease. *Brain* [online]. 109(4), 739–757. ISSN 0006-8950, 1460-2156. Dostupné z: doi:10.1093/brain/109.4.739
- BENEDETTI M.G., 1999. *Gait abnormalities in minimally impaired multiple sclerosis patients*. 1999.
- BENEDETTI, Mg, F CATANI, A LEARDINI, E PIGNOTTI a S GIANNINI, 1998. Data management in gait analysis for clinical applications. *Clinical Biomechanics* [online]. 13(3), 204–215. ISSN 02680033. Dostupné z: doi:10.1016/S0268-0033(97)00041-7
- BERTLER, A. a E. ROSENGREN, 1959. Occurrence and distribution of dopamine in brain and other tissues. *Experientia* [online]. 15(1), 10–11. ISSN 0014-4754, 1420-9071. Dostupné z: doi:10.1007/BF02157069

- BILNEY, Belinda, Meg E. MORRIS, Andrew CHURCHYARD, Edmond CHIU a Nellie GEORGIU-KARISTIANIS, 2005. Evidence for a disorder of locomotor timing in Huntington's disease: Locomotor Timing in Huntington's Disease. *Movement Disorders* [online]. 20(1), 51–57. ISSN 08853185. Dostupné z: doi:10.1002/mds.20294
- BLESSING, W.W., 1997. Inadequate frameworks for understanding bodily homeostasis. *Trends in Neurosciences* [online]. 20(6), 235–239. ISSN 01662236. Dostupné z: doi:10.1016/S0166-2236(96)01029-6
- BLOEM, Bastiaan R., Jeffrey M. HAUSDORFF, Jasper E. VISSER a Nir GILADI, 2004. Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: A review of two interconnected, episodic phenomena. *Movement Disorders* [online]. 19(8), 871–884. ISSN 0885-3185, 1531-8257. Dostupné z: doi:10.1002/mds.20115
- BLOEM, Bastiaan R., Johan MARINUS, Quincy ALMEIDA, Lee DIBBLE, Alice NIEUWBOER, Bart POST, Evzen RUZICKA, Christopher GOETZ, Glenn STEBBINS, Pablo MARTINEZ-MARTIN, Anette SCHRAG a FOR THE MOVEMENT DISORDERS SOCIETY RATING SCALES COMMITTEE, 2016. Measurement instruments to assess posture, gait, and balance in Parkinson's disease: Critique and recommendations: Posture, Gait, and Balance Instruments in PD. *Movement Disorders* [online]. 31(9), 1342–1355. ISSN 08853185. Dostupné z: doi:10.1002/mds.26572
- BRAAK, H. a K. DEL TREDICI, 2008. Invited Article: Nervous system pathology in sporadic Parkinson disease. *Neurology* [online]. 70(20), 1916–1925. ISSN 0028-3878, 1526-632X. Dostupné z: doi:10.1212/01.wnl.0000312279.49272.9f
- BRAAK, Heiko, Dietmar R. THAL, Estifanos GHEBREMEDHIN a Kelly DEL TREDICI, 2011. Stages of the Pathologic Process in Alzheimer Disease: Age Categories From 1 to 100 Years. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology* [online]. 70(11), 960–969. ISSN 0022-3069, 1554-6578. Dostupné z: doi:10.1097/NEN.0b013e318232a379
- BURNS, Alistair, Robin JACOBY a Raymond LEVY, 1990. Psychiatric Phenomena in Alzheimer's Disease. I: Disorders of Thought Content. *British Journal of Psychiatry* [online]. 157(1), 72–76. ISSN 0007-1250, 1472-1465. Dostupné z: doi:10.1192/bjp.157.1.72
- CARRIER, David R., 2011. The Advantage of Standing Up to Fight and the Evolution of Habitual Bipedalism in Hominins. *PLoS ONE* [online]. 6(5), e19630. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0019630
- COMPSTON, Alastair a Alasdair COLES, 2008. Multiple sclerosis. 372, 16.
- COOPER, James A., Harvey J. SAGAR, Philip TIDSWELL a Nigel JORDAN, 1994. Slowed central processing in simple and go/no-go reaction time tasks in Parkinson's disease. *Brain* [online]. 117(3), 517–529. ISSN 0006-8950, 1460-2156. Dostupné z: doi:10.1093/brain/117.3.517
- CORDER, Kirsten, Sören BRAGE a Ulf EKELUND, 2007. Accelerometers and pedometers: methodology and clinical application: *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* [online]. 10(5), 597–603. ISSN 1363-1950. Dostupné z: doi:10.1097/MCO.0b013e328285d883
- WRIGHT, David L, Tammy L KEMP, 1992. *The Dual-Task Methodology and Assessing the Attentional Demands of Ambulation with Walking Devices*. 1992.
- DAYALU, Praveen a Roger L. ALBIN, 2015. Huntington Disease. *Neurologic Clinics* [online]. 33(1), 101–114. ISSN 07338619. Dostupné z: doi:10.1016/j.ncl.2014.09.003

- DE BOER, A G, W WIJKER, J D SPEELMAN a J C DE HAES, 1996. Quality of life in patients with Parkinson's disease: development of a questionnaire. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* [online]. 61(1), 70–74. ISSN 0022-3050. Dostupné z: doi:10.1136/jnnp.61.1.70
- DE LUCA, Carlo J., 1997. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics* [online]. 13(2), 135–163. ISSN 1065-8483, 1543-2688. Dostupné z: doi:10.1123/jab.13.2.135
- DEMENOCAL, Peter B, 2004. African climate change and faunal evolution during the Pliocene–Pleistocene. *Earth and Planetary Science Letters* [online]. 220(1–2), 3–24. ISSN 0012821X. Dostupné z: doi:10.1016/S0012-821X(04)00003-2
- DIN* Silvia del, Alan GODFREY, Brook GALNA, Sue LORD AND Lynn ROCHESTER, 2016. Free-living gait characteristics in ageing and Parkinson's disease: impact of environment and ambulatory bout length.
- GIJBELS, Domien, Geert ALDERS, Elke Van HOOFF, Caroline CHARLIER, Machteld ROELANTS, Tom BROEKMANS a Bert Op 't EIJNDE and Peter FEYS, 2010. *Predicting habitual walking performance in multiple sclerosis: relevance of capacity and self-report measures*. 2010.
- REDELMEIER, Donald A, Ahmed M. BAYOUMI, Roger S. GOLDSTEIN and Gordon H. GUYAIT, 1997. *Interpreting Small Differences in Functional Status: The Six Minute Walk Test In Chronic Lung Disease Patients*. 1997.
- EBERSBACH, Georg, Milan R. DIMITRIJEVIC a Werner POEWE, 1995. Influence of Concurrent Tasks on Gait: A Dual-Task Approach. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 81(1), 107–113. ISSN 0031-5125, 1558-688X. Dostupné z: doi:10.2466/pms.1995.81.1.107
- EDEN, Melissa M., James TOMPKINS a Joseph L. VERHEIJDE, 2018. Reliability and a correlational analysis of the 6MWT, ten-meter walk test, thirty second sit to stand, and the linear analog scale of function in patients with head and neck cancer. *Physiotherapy Theory and Practice* [online]. 34(3), 202–211. ISSN 0959-3985, 1532-5040. Dostupné z: doi:10.1080/09593985.2017.1390803
- ENRIGHT, Paul L, 2003. The Six-Minute Walk Test. *RESPIRATORY CARE*. 48(8), 3.
- ERIK ST&BERG, 1979. *Single fibre electromyography*. 1979.
- FAROMBI, Temitope Hannah, Mayowa O OWOLABI a Adesola OGUNNIYI, 2016. Falls and Their Associated Risks in Parkinson's Disease Patients in Nigeria. *Journal of Movement Disorders* [online]. 9(3), 160–165. ISSN 2005-940X, 2093-4939. Dostupné z: doi:10.14802/jmd.16011
- FAY, BT a BONINGER ML, 2002. *The science behind mobility devices for individuals with multiple sclerosis*. 2002.
- FOGEL, Brent L., Hane LEE, Joshua L. DEIGNAN, Samuel P. STROM, Sibel KANTARCI, Xizhe WANG, Fabiola QUINTERO-RIVERA, Eric VILAIN, Wayne W. GRODY, Susan PERLMAN, Daniel H. GESCHWIND a Stanley F. NELSON, 2014. Exome Sequencing in the Clinical Diagnosis of Sporadic or Familial Cerebellar Ataxia. *JAMA Neurology* [online]. 71(10), 1237. ISSN 2168-6149. Dostupné z: doi:10.1001/jamaneurol.2014.1944
- GABELL, A. a U.S.L. NAYAK, 1984. The Effect of Age on Variability in Gait. *Journal of Gerontology* [online]. 39(6), 662–666. ISSN 0022-1422. Dostupné z: doi:10.1093/geronj/39.6.662

- GEHLSSEN, Gehlsen, BEEKMAN K, Assmann N, WINANT D, Seidle M a CARTER A, 1986. *Gait characteristic in multiple sclerosis: progressive changes and effects of exercise on parameters*. 1986.
- GEORGOPOULOS, A., A. SCHWARTZ a R. KETTNER, 1986. Neuronal population coding of movement direction. *Science* [online]. 233(4771), 1416–1419. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.3749885
- GILADI, Nir, Richard KAO a Stanley FAHN, 1997. Freezing phenomenon in patients with parkinsonian syndromes. *Movement Disorders* [online]. 12(3), 302–305. ISSN 0885-3185, 1531-8257. Dostupné z: doi:10.1002/mds.870120307
- GIOVANNONI, G, J VAN SCHALKWYK, V U FRITZ a A J LEES, 1999. Bradykinesia akinesia inco-ordination test (brain test): an objective computerised assessment of upper limb motor function. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* [online]. 67(5), 624–629. ISSN 0022-3050. Dostupné z: doi:10.1136/jnnp.67.5.624
- GOETZ, C. G., 2011. The History of Parkinson's Disease: Early Clinical Descriptions and Neurological Therapies. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine* [online]. 1(1), a008862–a008862. ISSN 2157-1422. Dostupné z: doi:10.1101/cshperspect.a008862
- GRAS, Laura Z., Saddam F. KANAAN, Joan M. MCDOWD, Yvonne M. COLGROVE, Jeffrey BURNS a Patricia S. POHL, 2015. Balance and Gait of Adults With Very Mild Alzheimer Disease: *Journal of Geriatric Physical Therapy* [online]. 38(1), 1–7. ISSN 1539-8412. Dostupné z: doi:10.1519/JPT.0000000000000020
- HARTLINE, Daniel K., 2008. What is myelin? *Neuron Glia Biology* [online]. 4(2), 153–163. ISSN 1740-925X, 1741-0533. Dostupné z: doi:10.1017/S1740925X09990263
- HELMES, E., K. G. CSAPO a J.-a. SHORT, 1987. Standardization and Validation of the Multidimensional Observation Scale for Elderly Subjects (MOSES). *Journal of Gerontology* [online]. 42(4), 395–405. ISSN 0022-1422. Dostupné z: doi:10.1093/geronj/42.4.395
- HERMANN, Andreas a Ruth H. WALKER, 2015. Diagnosis and Treatment of Chorea Syndromes. *Current Neurology and Neuroscience Reports* [online]. 15(2), 1. ISSN 1528-4042, 1534-6293. Dostupné z: doi:10.1007/s11910-014-0514-0
- HIROKAWA, S., 1989. Normal gait characteristics under temporal and distance constraints. *Journal of Biomedical Engineering* [online]. 11(6), 449–456. ISSN 01415425. Dostupné z: doi:10.1016/0141-5425(89)90038-1
- HUNT, Carlton C. a Stephen W. KUFFLER, 1954. Motor innervation of skeletal muscle: multiple innervation of individual muscle fibres and motor unit function*. *The Journal of Physiology* [online]. 126(2), 293–303. ISSN 00223751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.1954.sp005210
- HUTCHINSON, John R a Stephen M GATESY, 2001. Bipedalism. In: John WILEY & SONS, LTD, ed. *Encyclopedia of Life Sciences* [online]. Chichester, UK: John WILEY & Sons, Ltd, s. a0001869 [vid. 2019-08-03]. ISBN 978-0-470-01617-6. Dostupné z: doi:10.1038/npg.els.0001869
- CHEN, Kong Y. a David R. BASSETT, 2005a. The Technology of Accelerometry-Based Activity Monitors: Current and Future: *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 37(Supplement), S490–S500. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/01.mss.0000185571.49104.82

CHEN, Kong Y. a David R. BASSETT, 2005b. The Technology of Accelerometry-Based Activity Monitors: Current and Future: *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 37(Supplement), S490–S500. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/01.mss.0000185571.49104.82

JOHNSTON, Kylie Nicole, Adrian James POTTER a Anna Caroline PHILLIPS, 2017. Minimal important difference and responsiveness of 2-minute walk test performance in people with COPD undergoing pulmonary rehabilitation. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* [online]. Volume 12, 2849–2857. ISSN 1178-2005. Dostupné z: doi:10.2147/COPD.S143179

KAMEN, Gary a David A. GABRIEL, 2010. *Essentials of electromyography*. Champaign, IL: Human Kinetics. ISBN 978-0-7360-6712-6.

KETTENMANN, Helmut, Uwe-Karsten HANISCH a Mami NODA, 2011. *Physiology of Microglia*. 2011.

KIRTLEY, Chris, 2006. *Clinical gait analysis: theory and practice*. Edinburgh: Elsevier, Churchill Livingstone. ISBN 978-0-443-10009-3.

KO, Kwang Hyun, 2015. Origins of Bipedalism. *Brazilian Archives of Biology and Technology* [online]. 58(6), 929–934. ISSN 1516-8913. Dostupné z: doi:10.1590/S1516-89132015060399

LAMBERTI, Paolo, Silvia ARMENISE, Vincenzo CASTALDO, Michele de MARI, Giovanni ILICETO a Paola TRONCI, 1997. *Freezing Gait in Parkinson's Disease*. 1997.

LEMON, Roger N., 2008. Descending Pathways in Motor Control. *Annual Review of Neuroscience* [online]. 31(1), 195–218. ISSN 0147-006X, 1545-4126. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.neuro.31.060407.125547

LOCKLEY, Steven W., Debra J. SKENE a Josephine ARENDT, 1999. Comparison between subjective and actigraphic measurement of sleep and sleep rhythms. *Journal of Sleep Research* [online]. 8(3), 175–183. ISSN 0962-1105, 1365-2869. Dostupné z: doi:10.1046/j.1365-2869.1999.00155.x

LOPRINZI, Paul D., Jonathan SHEFFIELD, Brian M. TYO a Jeanine FITTIPALDI-WERT, 2014. Accelerometer-determined physical activity, mobility disability, and health. *Disability and Health Journal* [online]. 7(4), 419–425. ISSN 19366574. Dostupné z: doi:10.1016/j.dhjo.2014.05.005

LOVEJOY, 1981. *The origin of men*. 1981.

LOVEJOY, C. Owen, 1988. Evolution of Human Walking. *Scientific American* [online]. 259(5), 118–125. ISSN 0036-8733. Dostupné z: doi:10.1038/scientificamerican1188-118

MACNEILAGE, Peter F., 2007. Present Status of the Postural Origins Theory. In: *Special Topics in Primatology* [online]. B.m.: Elsevier, s. 58–91 [vid. 2019-02-24]. ISBN 978-0-12-374197-4. Dostupné z: doi:10.1016/S1936-8526(07)05003-8

MACWILLIAMS, B.A. a P.F. ARMSTRONG, 2000. Clinical applications of plantar pressure measurement in pediatric orthopedics. In: *Pediatric Gait: A New Millennium in Clinical Care and Motion Analysis Technology: Pediatric Gait: A New Millennium in Clinical Care and Motion Analysis Technology* [online]. Chicago, IL, USA: IEEE, s. 143–150 [vid. 2019-04-01]. ISBN 978-0-7803-6469-1. Dostupné z: doi:10.1109/PG.2000.858886

MARDER, E. a R. L. CALABRESE, 1996. Principles of rhythmic motor pattern generation. *Physiological Reviews* [online]. 76(3), 687–717. ISSN 0031-9333, 1522-1210. Dostupné z: doi:10.1152/physrev.1996.76.3.687

- MARTIN, Jennifer L. a Alex D. HAKIM, 2011. Wrist Actigraphy. *Chest* [online]. 139(6), 1514–1527. ISSN 00123692. Dostupné z: doi:10.1378/chest.10-1872
- MILO, Ron a Esther KAHANA, 2010. Multiple sclerosis: Geoeidemiology, genetics and the environment. *Autoimmunity Reviews* [online]. 9(5), A387–A394. ISSN 15689972. Dostupné z: doi:10.1016/j.autrev.2009.11.010
- MINK, Jonathan W. a W.Thomas THACH, 1993. Basal ganglia intrinsic circuits and their role in behavior. *Current Opinion in Neurobiology* [online]. 3(6), 950–957. ISSN 09594388. Dostupné z: doi:10.1016/0959-4388(93)90167-W
- MORGAN, Elaine, 1982. *The aquatic ape*. New York: Stein and Day. ISBN 978-0-8128-2873-3.
- MORRIS ME, Cantwell C, VOWELS L a DODD K, 2002. *Changes in gait and fatigue from morning to afternoon in people with multiple sclerosis*. 2002.
- MURO-DE-LA-HERRAN, Alvaro, Begonya GARCIA-ZAPIRAIN a Amaia MENDEZ-ZORRILLA, 2014. Gait Analysis Methods: An Overview of Wearable and Non-Wearable Systems, Highlighting Clinical Applications. *Sensors* [online]. 14(2), 3362–3394. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s140203362
- MYERS, Richard H, 2004. Huntington's Disease Genetics. 1(2), 8.
- NADKARNI, Neelesh K., William E. MCILROY, Elysha MAWJI a Sandra E. BLACK, 2009. Gait and Subcortical Hyperintensities in Mild Alzheimer's Disease and Aging. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders* [online]. 28(4), 295–301. ISSN 1421-9824, 1420-8008. Dostupné z: doi:10.1159/000245158
- NOVAES, Rômulo D., Aline S. MIRANDA a Victor Z. DOURADO, 2011. Usual gait speed assessment in middle-aged and elderly Brazilian subjects. *Revista Brasileira de Fisioterapia* [online]. 15(2), 117–122. ISSN 1413-3555. Dostupné z: doi:10.1590/S1413-35552011000200006
- OBESO, Jose A., Maria Cruz RODRÍGUEZ-OROZ, Beatriz BENITEZ-TEMINO, Francisco J. BLESÁ, Jorge GURIDI, Concepció MARIN a Manuel RODRIGUEZ, 2008. Functional organization of the basal ganglia: Therapeutic implications for Parkinson's disease. *Movement Disorders* [online]. 23(S3), S548–S559. ISSN 08853185, 15318257. Dostupné z: doi:10.1002/mds.22062
- ORLIN, Margo N a Thomas G MCPOIL, 2000. Plantar Pressure Assessment. *Physical Therapy* [online]. 80(4), 399–409. ISSN 0031-9023, 1538-6724. Dostupné z: doi:10.1093/ptj/80.4.399
- PANTAROTTI Pierre, 2016. *Evolutionary Biology*. 2016.
- PERRY, Jacquelin a Judith M. BURNFIELD, 2010a. *Gait analysis: normal and pathological function*. 2nd ed. Thorofare, NJ: SLACK. ISBN 978-1-55642-766-4.
- PERRY, Jacquelin a Judith M. BURNFIELD, 2010b. *Gait analysis: normal and pathological function*. 2nd ed. Thorofare, NJ: SLACK. ISBN 978-1-55642-766-4.
- PETERS, Denise M., Stacy L. FRITZ a Debra E. KROTISH, 2013. Assessing the Reliability and Validity of a Shorter Walk Test Compared With the 10-Meter Walk Test for Measurements of Gait Speed in Healthy, Older Adults: *Journal of Geriatric Physical Therapy* [online]. 36(1), 24–30. ISSN 1539-8412. Dostupné z: doi:10.1519/JPT.0b013e318248e20d

- POCOCK, Gillian a Christopher D. RICHARDS, 2006. *Human physiology: the basis of medicine*. 3rd ed. Oxford ; New York: Oxford University Press. Oxford medical publications. ISBN 978-0-19-856878-0.
- PODSIADLO, Diane a Sandra RICHARDSON, 1991. The Timed “Up & Go”: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. *Journal of the American Geriatrics Society* [online]. 39(2), 142–148. ISSN 00028614. Dostupné z: doi:10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
- PURVES, D., D.R. RIDDLE a A-S. LAMANTIA, 1992. Iterated patterns of brain circuitry (or how the cortex gets its spots). *Trends in Neurosciences* [online]. 15(10), 362–368. ISSN 01662236. Dostupné z: doi:10.1016/0166-2236(92)90180-G
- PYO, Seon Jong, Hanjun KIM, Il Soo KIM, Young-Min PARK, Mi-Jung KIM, Hye Mi LEE a Seong-Beom KOH, 2017. Quantitative Gait Analysis in Patients with Huntington’s Disease. *Journal of Movement Disorders* [online]. 10(3), 140–144. ISSN 2005-940X, 2093-4939. Dostupné z: doi:10.14802/jmd.17041
- REED, Kaye E., 1997. Early hominid evolution and ecological change through the African Plio-Pleistocene. *Journal of Human Evolution* [online]. 32(2–3), 289–322. ISSN 00472484. Dostupné z: doi:10.1006/jhev.1996.0106
- RIVA, F., M.C. BISI a R. STAGNI, 2014. Gait variability and stability measures: Minimum number of strides and within-session reliability. *Computers in Biology and Medicine* [online]. 50, 9–13. ISSN 00104825. Dostupné z: doi:10.1016/j.compbiomed.2014.04.001
- ROSE, Jessica a James Gibson GAMBLE, ed., 2006a. *Human walking*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 978-0-7817-5954-0.
- ROSE, Jessica a James Gibson GAMBLE, ed., 2006b. *Human walking*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 978-0-7817-5954-0.
- ROSE, Jessica a James Gibson GAMBLE, ed., 2006c. *Human walking*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 978-0-7817-5954-0.
- ROSENBERG, Karen R. a Wenda R. TREVATHAN, 2001. The Evolution of Human Birth. *Scientific American* [online]. 285(5), 72–77. ISSN 0036-8733. Dostupné z: doi:10.1038/scientificamerican1101-72
- RUFF, Christopher B., 1995. Biomechanics of the hip and birth in earlyHomo. *American Journal of Physical Anthropology* [online]. 98(4), 527–574. ISSN 0002-9483, 1096-8644. Dostupné z: doi:10.1002/ajpa.1330980412
- SAAB, Aiman S a Klaus-Armin NAVE, 2017. Myelin dynamics: protecting and shaping neuronal functions. *Current Opinion in Neurobiology* [online]. 47, 104–112. ISSN 09594388. Dostupné z: doi:10.1016/j.conb.2017.09.013
- SANDROFF Brian M., Robert W. MOTL*, Lara A. PILUTTI, Yvonne C. LEARMONTH, Ipek ENSARI, Deirdre DLUGONSKI, a Rachel E. KLAREN, Swathi BALANTRAPU, Barry J. RISKIN, 2014. *Accuracy of StepWatch™ and ActiGraph Accelerometers for Measuring Steps Taken among Persons with Multiple Sclerosis*. 2014.
- SHAHABPOOR, Erfan a Aleksandar PAVIC, 2017. Measurement of Walking Ground Reactions in Real-Life Environments: A Systematic Review of Techniques and Technologies.

- SHULMAN, Lisa M., 2010. Understanding disability in Parkinson's disease. *Movement Disorders* [online]. 25(S1), S131–S135. ISSN 08853185. Dostupné z: doi:10.1002/mds.22789
- SHULMAN, Lisa M., Carlos SINGER, Judy A. BEAN a William J. WEINER, 1996. Internal tremor in patients with Parkinson's disease. *Movement Disorders* [online]. 11(1), 3–7. ISSN 0885-3185, 1531-8257. Dostupné z: doi:10.1002/mds.870110103
- SHULMAN, L.M, R.L TABACK, A.A RABINSTEIN a W.J WEINER, 2002. Non-recognition of depression and other non-motor symptoms in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders* [online]. 8(3), 193–197. ISSN 13538020. Dostupné z: doi:10.1016/S1353-8020(01)00015-3
- SCHIMPL^{1,2} Michaela, Carmel MOORE³, CHristian LEDERER¹, Anneke NEUHAUS¹, Jennifer SAMBROOK⁴, John a DANESH³, Willem OUWEHAND⁴, Martin DAUMER^{1,2*}, 2011. *Association between Walking Speed and Age in Healthy, Free-Living Individuals Using Mobile Accelerometry—A Cross-Sectional Study*. 2011.
- SIGMON, B. A., 1971. Bipedal behavior and the emergence of erect posture in man. *American Journal of Physical Anthropology* [online]. 34(1), 55–60. ISSN 0002-9483, 1096-8644. Dostupné z: doi:10.1002/ajpa.1330340105
- SODERBERG, Gary L. a Thomas M. COOK, 1984. Electromyography in Biomechanics. *Physical Therapy* [online]. 64(12), 1813–1820. ISSN 0031-9023, 1538-6724. Dostupné z: doi:10.1093/ptj/64.12.1813
- STORM^{1,2*} Fabio A., K. P. S. NAIR, Alison J. CLARKE, Jill M. VAN DER MEULEN, a Claudia MAZZÀ, 2018. *Free-living and laboratory gait characteristics in patients with multiple sclerosis*. 2018.
- TAMBURINI Paola, Fabio STORM, CHris BUCKLEY, Maria a Cristina BISI, Rita STAGNI, Claudia MAZZ`A, 2017. *Moving from laboratory to real life conditions: Influence on the assessment of variability and stability of gait*. 2017.
- TANGEN, Gro Gujord, Astrid BERGLAND, Knut ENGEDAL a Anne Marit MENGSHOEL, 2017. The importance of parkinsonian signs for gait and balance in patients with Alzheimer's disease of mild degree. *Gait & Posture* [online]. 51, 159–161. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2016.10.009
- TAO, Weijun, Tao LIU, Rencheng ZHENG a Hutian FENG, 2012a. Gait Analysis Using Wearable Sensors. *Sensors* [online]. 12(2), 2255–2283. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s120202255
- TAO, Weijun, Tao LIU, Rencheng ZHENG a Hutian FENG, 2012b. Gait Analysis Using Wearable Sensors. *Sensors* [online]. 12(2), 2255–2283. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s120202255
- TUSA, Ronald J., 1999. Nystagmus: Diagnostic and Therapeutic Strategies. *Seminars in Ophthalmology* [online]. 14(2), 65–73. ISSN 0882-0538, 1744-5205. Dostupné z: doi:10.3109/08820539909056066
- TYREMAN, Stephen, 2011. Integrity: is it still relevant to modern healthcare?: Integrity in Healthcare. *Nursing Philosophy* [online]. 12(2), 107–118. ISSN 14667681. Dostupné z: doi:10.1111/j.1466-769X.2011.00486.x
- VAUGHAN, Christopher L, 2003. Theories of bipedal walking: an odyssey. *Journal of Biomechanics* [online]. 36(4), 513–523. ISSN 00219290. Dostupné z: doi:10.1016/S0021-9290(02)00419-0
- VISSER Henriët, 1983. *Gait and balance in senile dementia of Alzheimer's type*. 1983.

- VONSATTEL, Jean-Paul, Thomas J STEVENS a Edward D BIRD, 1985. Neuropathological Classification of Huntington's Disease.
- WALKER Francis O., 2007. *Huntington's disease*. 2007. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(07)60111-1
- WATSON Martin J., 2001. *Refining the Ten-metre Walking Test for Use with Neurologically Impaired People*. 2001.
- WEINTRAUB, Daniel, Paul J. MOBERG, John E. DUDA, Ira R. KATZ a Matthew B. STERN, 2004. Effect of Psychiatric and Other Nonmotor Symptoms on Disability in Parkinson's Disease: nonmotor causes of disability in PD. *Journal of the American Geriatrics Society* [online]. 52(5), 784–788. ISSN 00028614, 15325415. Dostupné z: doi:10.1111/j.1532-5415.2004.52219.x
- WESTERKAM, D, L L SAUNDERS a J S KRAUSE, 2011. Association of spasticity and life satisfaction after spinal cord injury. *Spinal Cord* [online]. 49(9), 990–994. ISSN 1362-4393, 1476-5624. Dostupné z: doi:10.1038/sc.2011.49
- WHEELER, P.E., 1984. The evolution of bipedality and loss of functional body hair in hominids. *Journal of Human Evolution* [online]. 13(1), 91–98. ISSN 00472484. Dostupné z: doi:10.1016/S0047-2484(84)80079-2
- WHITTINGTON, M.A, R.D TRAUB, N KOPELL, B ERMENTROUT a E.H BUHL, 2000. Inhibition-based rhythms: experimental and mathematical observations on network dynamics. *International Journal of Psychophysiology* [online]. 38(3), 315–336. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/S0167-8760(00)00173-2
- WHITTLE, M.W., 1993a. Gait analysis. In: *The Soft Tissues* [online]. B.m.: Elsevier, s. 187–199 [vid. 2018-12-02]. ISBN 978-0-7506-0170-2. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-7506-0170-2.50017-0
- WHITTLE, M.W., 1993b. Gait analysis. In: *The Soft Tissues* [online]. B.m.: Elsevier, s. 187–199 [vid. 2019-08-12]. ISBN 978-0-7506-0170-2. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-7506-0170-2.50017-0
- WILDEMUTH, Barbara M, 2009. Applications of Social Research Methods to Questions in Information and Library Science. 434.
- ZETUSKY, W. J., J. JANKOVIC a F. J. PIROZZOLO, 1985. The heterogeneity of Parkinson's disease: Clinical and prognostic implications. *Neurology* [online]. 35(4), 522–522. ISSN 0028-3878, 1526-632X. Dostupné z: doi:10.1212/WNL.35.4.522

9 Seznam webových stránek

- URL1 Cambridge University Press, CAMBRIDGE DICTIONARY [online].
Cambridge: ©2019 [cit. 13. 4. 2019].
Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/>
- URL2 Genentech, A Member of the Roche Group, *Flooflight Open* [online]. ©2019
[cit. 20. 8. 2019]. Dostupné z: <https://floodlightopen.com/en-US/>
- URL3 National Institute of Neurological Disorders and Stroke, *Huntington's Disease Information Page* [online]. ©2019 [cit.] Dostupné z:
<https://www.ninds.nih.gov/Disorders/All-Disorders/Huntingtons-Disease-Information-Page>
- URL4 US National Library of Medicine National Institutes of Health, PubMed [online].
©1996 [cit. 5. 2. 2019].
Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=gait+analysis>

10 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Cyklus chůze.....4

11 Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Souhrn výhod a limitací neinvazivních a invazivních metod měření.....16