



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Využití headsetu virtuální reality jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření

Using a Virtual Reality Headset as a Tool for Stability Testing

Diplomová práce

Studijní program: Aplikovaná fyzioterapie

Autor diplomové práce: Bc. Eliška Doležalová

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Lenka Hušnerová Rybínová

Konzultant diplomové práce: Mgr. Stanislav Machač, Ph.D.

Kladno 2023



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Doležalová** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **482982**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Aplikovaná fyzioterapie**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití headsetu virtuální reality jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření

Název diplomové práce anglicky:

Using a Virtual Reality Headset as a Tool for Stability Testing

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude zhodnotit možnost využití headsetu virtuální reality jako diagnostického nástroje stability stoje. Teoretická část práce se bude zabývat problematikou využití virtuální reality ve fyzioterapii. V metodické části práce budou popsány vyšetřovací postupy použité k získání dat. Pro potřeby diplomové práce budou naměřeny tři skupiny probandů, a to zdraví jedinci, jedinci s bolestmi bederní páteře a senioři, jejichž charakteristika bude též součástí metodické části práce. Praktická část pak bude obsahovat vyhodnocení dat všech tří skupin z měření stability stoje pomocí headsetu virtuální reality a pomocí stabilometrické plošiny. V závěru práce bude na základě statistické analýzy z naměřených dat zhodnoceno, zda existuje korelace mezi hodnotami naměřenými pomocí virtuální reality a pomocí stabilometrické plošiny, tedy zda je možné diagnosticky využít headset virtuální reality ve stabilometrii.

Seznam doporučené literatury:

- [1] NAVRÁTIL, Leoš, Aleš PŘÍHODA a kolektiv, Robotická rehabilitace, GRADA Publishing, 2022, ISBN 978-80-271-0665-3
- [2] RIENER, Robert a Matthias HARDERS, Virtual Reality in Medicine. London: Springer, London: Springer, 2012, ISBN 978-1-4471-4010-8
- [3] SOLTANI, Pooya a Renato ANDRADE, The Influence of Virtual Reality Head-Mounted Displays on Balance Outcomes and Training Paradigms: A Systematic Review, Frontiers in Sports and Active Living, ročník 2, 2021, ISSN 2624-9367

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Mgr. Lenka Hušnerová Rybínová

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Mgr. Stanislav Machač, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **15.02.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2024**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Využití headsetu virtuální reality jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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

V Kladně dne 13.05.2023

.....
Bc. Eliška Doležalová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla moc poděkovat především mé vedoucí práce Mgr. Lence Hušnerové Rybínové za pomoc a poskytnutí cenných rad při zpracovávání mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat konzultantovi Mgr. Stanislavu Macháčovi, Ph.D. za pomoc jak při praktickém měření, tak při vypracovávání této práce a firmě VR Medical za vypůjčení headsetu pro samotné testování.

ABSTRAKT

Virtuální realita (VR) je inovativní technologie, která nám otevírá nové možnosti jak v medicíně, tak ve fyzioterapii. Diplomová práce se zaměřuje na možnost využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření.

Teoretická část práce popisuje využití VR ve fyzioterapii se zaměřením na oblast neurorehabilitace a problematiku poruch stability. V metodologické části práce je charakterizován testovaný soubor probandů, přiblížen průběh měření a popsána statistická analýza, pomocí které byla vyhodnocována naměřená data. V rámci praktické části bylo provedeno stabilometrické vyšetření headsetem VR a na stabilometrické plošině u 72 probandů zařazených do tří skupin, a to do kontrolní skupiny ($n = 24$), skupiny probandů s bolestmi bederní páteře ($n = 25$) a skupiny seniorů ($n = 23$). Hlavním cílem bylo zjistit, zda existuje korelace mezi naměřenými hodnotami pomocí použitých přístrojů a zda je měření pomocí nich spolehlivé ve smyslu opakovatelnosti měření.

Výsledky klinického testování stability stoje poukazují na existenci signifikantní korelace mezi naměřenými hodnotami pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny a na spolehlivost opakovatelnosti měření pomocí obou přístrojů. Na základě výsledků lze konstatovat, že se headset VR nabízí jako levnější alternativní metoda pro měření stability stoje, přičemž největší klinický potenciál headsetu VR je u jedinců s horší posturální stabilitou, tedy především u seniorů.

Klíčová slova

Virtuální realita; headset VR; stabilometrie; posturální stabilita; stabilometrická plošina

ABSTRACT

Virtual reality (VR) is an innovative technology that opens up new possibilities in both medicine and physiotherapy. This thesis focuses on the possibility of using a VR headset as a tool to perform stabilometric examinations.

The theoretical part of the thesis describes the use of VR in physiotherapy, focusing on the field of neurorehabilitation and the issue of stability disorders. In the methodological part of the thesis, the tested set of probands is characterized, the course of measurements is presented and the statistical analysis used to evaluate the measured data is described. In the practical part of the study, a stabilometric examination was performed using a VR headset and on a stabilometric platform on 72 probands assigned to three groups, namely the control group (n = 24), the group of probands with lumbar spine pain (n = 25) and the group of elderly patients (n = 23). The main objective was to determine whether there was a correlation between the values measured by the instruments used and whether the measurements using them are reliable in terms of repeatability.

The results of the clinical testing of standing stability indicate the existence of a significant correlation between the values measured with the VR headset and the stability platform and the reliability of repeatability of the measurements with both devices. Based on the results, it can be concluded that the VR headset offers a cheaper alternative method for measuring standing stability, with the greatest clinical potential of the VR headset in individuals with poorer postural stability, primarily the elderly.

Keywords

Virtual reality; VR headset; stabilometry; postural stability; stabilometric platform

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce a hypotézy	10
3	Přehled současného stavu.....	12
3.1	Virtuální realita	12
3.1.1	Dělení virtuální reality	14
3.1.2	Headset VR.....	15
3.2	Využití virtuální reality v neurorehabilitaci.....	16
3.2.1	Cévní mozková příhoda.....	16
3.2.2	Dětská mozková obrna.....	18
3.2.3	Poškození míchy.....	19
3.3	Posturální stabilita.....	20
3.4	Vyšetření posturální stability.....	21
3.4.1	Stabilometrie	21
3.4.2	Inerciální senzory ve stabilometrii.....	22
3.4.3	Využití headsetu VR k přístrojovému vyšetření dynamické posturografie.....	24
3.5	Využití virtuální reality v terapii pacientů s poruchami stability	25
3.5.1	Využití headsetu VR v terapii pacientů s poruchami stability	28
4	Metodika.....	29
4.1	Charakteristika probandů	29
4.2	Použité metody	30
4.3	Průběh měření.....	31
4.4	Statistická analýza dat.....	32

5	Výsledky.....	35
5.1	Statistické testování hypotézy H_1	35
5.2	Statistické testování hypotézy H_2	41
5.3	Statistické testování hypotézy H_3	46
6	Diskuze.....	53
7	Závěr.....	62
8	Seznam použitých zkratk.....	63
9	Seznam použité literatury.....	64
10	Seznam použitých obrázků.....	78
11	Seznam použitých grafů.....	79
12	Seznam použitých tabulek.....	80

1 ÚVOD

Virtuální realita (VR) je inovativní technologie, která postupně proniká do našich životů, a její využití nám otevírá nové možnosti nejen v medicíně, ale také ve fyzioterapii. Největší uplatnění nachází v neurorehabilitaci, kde má především za cíl urychlit zotavení daného poškození a pomoci tak s obnovením motorických a kognitivních funkcí k získání či udržení soběstačnosti. Užitečnost této technologie se začíná projevovat nejen na hladině terapeutické, ale i na úrovni diagnostické, což je právě předmětem zkoumání této práce.

V praxi se velice často setkáváme s poruchami stability stoje a chůze, a to hlavně u starších jedinců nebo u osob s neurologickým onemocněním. Přístroje určené k vyšetření stability, z nichž nejvyužívanější jsou stabilometrické plošiny, jsou ale finančně a prostorově náročné, což nás značně limituje v možnosti jejich využití. V diplomové práci se proto zaměřuji na analýzu uplatnění headsetu VR jako nástroje pro stabilometrické měření stoje, neboť je to vzhledem ke své hmotnosti, velikosti a finanční nákladnosti dostupné mobilní zařízení. Na základě vlastního měření probandů z laboratorní praxe bude cílem zjistit, zda hodnoty naměřené headsetem VR korelují s hodnotami získaných ze stabilometrické plošiny, a zda je měření pomocí headsetu VR spolehlivou metodou ve smyslu opakovatelnosti měření. V případě, že výsledky statistické analýzy prokáží, že je headset VR vhodným nástrojem k měření stability stoje, povede jeho využití v této oblasti k výraznému pokroku, zjednodušení a potenciálně i k využití na poli telerehabilitace.

Diplomovou práci jsem měla možnost zrealizovat díky spolupráci s firmou VR Medical, která napomáhá rozvoji využití technologie VR ve zdravotnictví. Tým odborníků vyvinul speciální aplikaci, pomocí které jsem mohla testovat stabilitu stoje probandů s využitím headsetu VR. Navíc mi byl pro potřeby klinického testování od firmy zapůjčen i samotný přístroj.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem diplomové práce je nejprve vytvořit literární rešerši týkající se možností a efektivity využití virtuální reality ve fyzioterapii se zaměřením na neurorehabilitaci a poruchy stability. V praktické části je pak stěžejní provést stabilometrické vyšetření pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u probandů rozdělených do tří skupin a z naměřených dat provést statistickou analýzu.

Hlavním cílem práce je zjistit, zda existuje korelace mezi naměřenými hodnotami pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny, dále určit, zda je měření stability stoje pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny reliabilní, a nakonec na základě výsledků vyhodnotit možnost využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření.

Dalším dílčím cílem je v rámci diskuze zhodnotit přínosy a limitace virtuální reality na základě poznatků získaných z tuzemských i zahraničních studií a osobních zkušeností.

Hypotézy:

H1₀: Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny spolu vzájemně nekorelují.

H1_A: Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny spolu vzájemně korelují.

H2₀: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

H2_A: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření pomocí headsetu VR není roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR není reliabilní.

H3₀: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

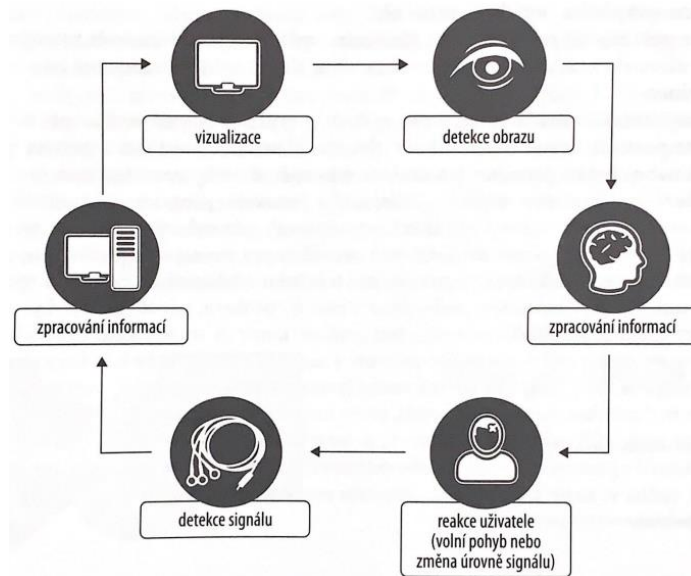
H3_A: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření pomocí stabilometrické plošiny není roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny není reliabilní.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Virtuální realita

Virtuální realita (VR) je pokročilá počítačová technologie, která umožňuje uživateli nasimulovat zcela nový skutečný svět a s ním interagovat. S využitím speciálních zařízení pro přenos VR mezi počítačem a člověkem dokážeme uživatele vytrhnout z opravdové reality a navodit u něho pocit fyzické přítomnosti právě ve virtuálním světě. Tento subjektivní pocit pohlcení a navození dojmu skutečnosti ve virtuální scéně se nazývá tzv. vnoření (imerze, angl. immersion). Pro navození pocitu plného vnoření je klíčovým faktorem zapojení co nejvíce smyslových rovin (audiovizuální, vestibulární, propioceptivní, taktilní, čichové) (Riener et Harders, 2012, s. 1; Massetti et al, 2018; Navrátil et al, 2022, s. 107-108). Míru imerze významně ovlivňuje i vysoká snímková frekvence zajišťující plynulost pohybu ve virtuální scéně a úroveň počítačové grafiky. Moderní postupy 3D počítačové grafiky jsou schopny prezentovat detailní optické vlastnosti objektů i samotného virtuálního prostředí, což nám vytváří velice realistický obraz. Ne vždy je však cílem navodit co nejrealističtější zážitek, a proto jsou v praxi často využívány i scény s jednoduchou grafikou (Riener et Harders, 2012, s. 2; Navrátil et al, 2022, s. 107).

V momentě, kdy uživatel může ovlivňovat děj virtuální scény, nazýváme tuto scénu jako interaktivní. Podstatou interakce je zpětnovazebný princip, kterého může být dosaženo běžným počítačovým příslušenstvím (klávesnice, myš,..), speciálními ovladači nebo různými způsoby snímání volných pohybů uživatele (Navrátil et al, 2022, s. 109).



Obrázek 1 - Schéma fungování zpětnovazebného principu VR (Navrátil et al, 2022, s. 109)

Na obrázku 1 je znázorněno fungování zpětnovazebného principu. Praktický příklad fungování VR ve fyzioterapii je např. nácvik stability stoje na stabilometrické plošině využívaný v terapii pacientů s poruchou rovnováhy. Pacient stojí na stabilometrické plošině a před sebou má umístěný počítač se speciálním softwarem, na kterém je znázorněna virtuální scéna. Uživatel sleduje na počítačové obrazovce své těžiště znázorněné kuličkou, kterou má za cíl udržovat nehybně na jednom místě. Pohyb těžiště je snímán pomocí speciálních senzorů zabudovaných do stabilometrické plošiny, kdy na základě vychýlení těžiště uživatele se příslušným směrem a rychlostí posune i kulička na obrazovce. Tuto změnu uživatel detekuje svým zrakem, vyhodnotí ji a vzápětí na ni zareaguje žádoucí úpravou svého postojení. Systém opět znázorní pohyb kuličky na pokyn uživatele a tato situace se opakuje stále dokola (Navrátil et al, 2022, s. 109-110).

3.1.1 Dělení virtuální reality

VR můžeme dělit dle míry imerze na neimerzivní, semi-imerzivní nebo plně imerzivní. Neimerzivní VR je charakteristická tím, že uživatel plně vnímá své reálné okolí, neboť virtuální scénu sleduje pouze na monitoru umístěném před sebou. Jedná se např. o klasické počítačové hry, kde uživatel ovlivňuje děj ve virtuálním světě skrze postavu, za kterou hraje. Využívá se k tomu různého příslušenství jako je klávesnice, myš, reproduktory či tenzometrická plošina. Semi-imerzivní VR je částečně pohlcující VR, která může být zprostředkována pomocí monitoru nebo VR headsetu. Headset je zařízení, které se nasazuje uživateli na hlavu a umožňuje vyobrazení scén virtuálního prostředí. Rozdíl oproti neimerzivní VR je hlavně v tom, že v semi-imerzivní VR má uživatel pocit, že se sám nachází v prostředí virtuálního světa. Zážitek z něho však není umocněn jiným fyzickým vjemem nežli vjemem vizuálním. Příkladem jsou virtuální prohlídky nebo letecký simulátor, kdy pilot sedí před reálnými přístroji a řídicími prvky letadla, ale v oknech jsou plátna, na kterých se promítá virtuální scéna. Plně imerzivní VR využívá headset, který znemožní uživateli přehled o situaci kolem něj v reálném prostředí. Jejím cílem je poskytnout uživateli realistický zážitek z virtuálního světa, k čemuž se využívají různé ovladače, senzory, běžecký pás a další příslušenství (Raja, 2019, s. 1767-1770; Fernández et al, 2022).

Dále můžeme rozlišovat VR dle míry interaktivity uživatele s virtuálním světem na pasivní, aktivní a interaktivní (Sak a Mareš, 2007, s. 252). V případě pasivní VR uživatel pouze sleduje virtuální scénu bez možnosti jejího ovlivnění. Aktivní a interaktivní VR je charakteristická využitím různých typů senzorů, které uživateli umožňují pohyb ve virtuální scéně. Jediný rozdíl je v tom, že v interaktivní VR dokáže uživatel navíc i manipulovat s jednotlivými předměty virtuálního prostředí (Sak a Mareš, 2007, s. 252; Navrátil et al, 2022, s. 107-108).

3.1.2 Headset VR

Pro potřeby této diplomové práce je využíván headset VR a semi-imerzivní VR. První prototyp tohoto přístroje byl sestaven již v roce 1966, ale z důvodu jeho velké hmotnosti musel být přichycen ke stropu, tudíž s ním nebylo možné hýbat. Díky pokročilému vývoji jsou dnešní varianty headsetu mobilní, umožňují stereoskopickou projekci a obsahují inerciální senzory, které jsou základem pro fungování zpětnovazebného principu. Stereoskopická projekce znamená prostorové 3D vidění, kdy je scéna pozorována oběma očima a je tak umožněn lepší odhad vzdálenosti a orientace v prostoru. V headsetu VR je tohoto jevu dosaženo pomocí dvou displejů, ve kterých je obraz zobrazován pro každé oko zvlášť (Navrátil et al, 2022, s. 108-112). Zmíněné inerciální senzory jsou součástky snímající pohyb a polohu té části těla, na kterou jsou umístěny. Skládají se z akcelerometru, který snímá lineární zrychlení, a gyroskopu, který snímá informace o úhlové rychlosti a natočení. Inerciální senzory zabudované v headsetu VR nám tedy jednak poskytují informace o pohybu a poloze hlavy, ale navíc umožňují samotnému uživateli ovlivňovat pohybem hlavy děj virtuální scény (Ionut et Marisu, 2021).

Zmíněné vlastnosti nám zpřístupnily využití VR v mnoha odvětvích lékařského výzkumu (Riener et Harders, 2012, s. 1-5; Rosiak et al, 2022). Příkladem je uplatnění VR v chirurgii při nácviku zákroků, v psychoterapii při léčbě fobií nebo v oftalmologii při klinickém testování (Navrátil et al, 2022, s. 112-114). Ve fyzioterapii je oblast využití virtuální reality velice obsáhlá, a proto se v následujících kapitolách zaměřím na nejhlavnější z nich, a to na oblast neurorehabilitace a poruch stability.

3.2 Využití virtuální reality v neurorehabilitaci

Technologie VR je považována za jeden z inovativních přístupů v rehabilitaci. Konkrétně se využívá hlavně v neurorehabilitaci, tedy u pacientů s poškozením nervové soustavy, kde má za cíl urychlit zotavení mozku a obnovit tak motorické a kognitivní funkce u pacientů např. po cévní mozkové příhodě nebo po kraniotraumatech (Hara, 2015, s. 4-6; Navrátil et al, 2022, s. 114-115). Naděje na efektivnější rekonvalescenci přinesl poznatek o neuroplasticitě mozku v 50. letech 20. století (Puderbaugh et Emmady, 2022). Pochopení plasticity mozkové tkáně jako vysoce dynamického systému, který může vést k významné podpoře uzdravení, poskytlo zásadní impuls pro výzkum v oblasti motorické rehabilitace. Díky neustálému rozvoji a modernizaci techniky vznikají nové terapeutické nástroje a metody na posílení procesů plasticity a zlepšení funkčního zotavení, které je možné účinně aplikovat na různé druhy diagnóz (Hara, 2015, s. 4-11).

3.2.1 Cévní mozková příhoda

Cévní mozková příhoda (CMP) je neurologické onemocnění, které je třetí nejčastější příčinnou úmrtí na světě (Seidl, 2008, s. 83). V důsledku lepší zdravotní péče v současné době dochází k poklesu úmrtnosti na toto onemocnění, avšak roste tak počet přeživších, kteří následně kvůli neúplnému zotavení mozku trpí poruchami motorických, kognitivních a senzorických funkcí (Choi et Paik, 2018; Moan et al, 2021). Prodělání CMP snižuje funkční kapacitu jedince, osobní autonomii a sociální schopnosti, kvůli čemuž je třeba zahajovat intenzivní péči multidisciplinárního týmu (Cortés-Pérez et al, 2020). Na základě četnosti výskytu tohoto onemocnění a následné potřeby zdravotní péče jsou neustále prováděny vědecké práce a pilotní studie, které zkoumají benefity technologií s VR a jejich efektivní využití v rehabilitaci.

U pacientů po CMP bylo prokázáno, že obnovení kognitivních funkcí přímo souvisí s mírou jejich účasti na rehabilitaci (Skidmore et al, 2010, s. 203-207), a proto by měla být i snaha o obnovení kognitivních funkcí základním cílem již od samotného počátku rehabilitační intervence (Choi et Paik, 2018). Faria et al (2016) prováděl kognitivní rehabilitaci u pacientů s CMP prostřednictvím virtuální simulace města, ve kterém se vyskytovaly čtyři často navštěvovaná místa – supermarket, pošta, banka a lékárna. Výsledky studie naznačují, že trénink prováděný skrze simulaci běžných aktivit každodenního života (Activities of Daily Living, ADL), významně zlepšuje globální kognitivní fungování, pozornost, paměť, visuprostorové schopnosti, prožívání emocí a celkové zotavení oproti klasickým konvenčním metodám. S tím se shodují i Maggio et al (2019), jejichž přehled studií z roku 2010 až 2017 zaznamenal zlepšení v mnoha kognitivních oblastech u pacientů s CMP po terapii VR.

Značná část rehabilitace pacientů po CMP se zaměřuje na poruchy rovnováhy, neboť zvyšují riziko pádů. I z tohoto hlediska se zdá být VR slibnou alternativou ke konvenční fyzioterapii, neboť výsledky terapie s využitím VR naznačují statisticky významné zlepšení v testech dynamické rovnováhy, rozsahu pohybu, flexibility a dokonce i v schopnosti chůze (In et al, 2016, s. 4051-4053). Cortés-Pérez et al (2020) poukazuje navíc ještě na to, že se zlepšením chůze dochází zároveň u pacienta v chronické fázi CMP po terapii VR i ke snížení strachu z pádu. V běžné rehabilitační praxi pacientů s CMP probíhá nácvik lokomoce s využitím robotických přístrojů, jejichž součástí je neimerzivní VR. Nácvikem chůze na běžeckém pásu v plně imerzivním VR se zabývali Moan et al (2021) a v závěru uvedli, že tato varianta terapie má velký potenciál pro použití v rehabilitaci chůze pacientů po CMP. Pro implementaci do běžné klinické praxe je však zapotřebí doladit náročnost ovládání, nastavení a přidat možnost přizpůsobení individuálně každému uživateli.

V rehabilitaci horních končetin u pacientů po CMP se terapie VR jeví jako účinná forma pro ovlivnění motorických funkcí (Choi et Paik, 2018). Hlavní výhodou oproti klasické konvenční metodě je zvýšení motivace, díky které dojde k většímu efektu terapie na funkci horní končetiny (Karamians et al, 2020). Gueye et al (2021) ve své studii navíc prokazuje, že účinnost terapie VR s využitím vizuálního biofeedbacku se s věkem pacienta nezmenšuje.

3.2.2 Dětská mozková obrna

Dětská mozková obrna (DMO) je porucha projevující se především na pohybovém aparátu, která se vyznačuje různorodým klinickým obrazem. Vždy se však jedná o trvalou poruchu pohybu, posturálních a motorických funkcí. Mimo jiné můžeme u jedinců s DMO pozorovat např. poruchy komunikace, vnímání, chování, smyslů či kognitivních funkcí (Panteliadis, 2018).

Experimentální výsledky studií dokazují, že terapie s využitím technologie VR může zlepšit účinnost léčby pacientů s DMO o více než 30 % (Gao et al, 2021). VR se u těchto pacientů zdá být slibnou intervencí ke zlepšení rovnováhy a motorických dovedností (Chen et al, 2018, s. 74; Ravi et al, 2017), ke zlepšení parametrů chůze (Ghai et Ghai, 2019, s. 253-258; Gao et al, 2021) nebo motorických funkcí horních končetin, a to jak v hrubé, tak jemné motorice a dokonce i v ADL (Sahin et al, 2020; Choi et al, 2021).

V této problematice se setkáváme ale i s rozdílnými názory. Například Jha et al (2021) ve své studii došli k závěru, že kombinace fyzioterapie a terapie VR není lepší oproti samotné fyzioterapii pro zlepšení hrubé motoriky a ADL, ale zdá se být prospěšnější v balanční kapacitě. Z metaanalýzy Fandima et al (2021) vyplývá, že existuje málo kvalitních důkazů, které by poukazovaly na kombinaci VR s konvenční rehabilitací jako na účinnější metodu pro funkci horních končetin oproti samotné konvenční rehabilitaci. Navíc není ani

dostatek kvalitních studií, které by hodnotily samotnou terapii VR jako efektivnější než konvenční rehabilitaci na funkci horních a dolních končetin.

Možná, že se názory a výsledky jednotlivých studií a metaanalýz neshodují, jelikož trénink s využitím VR vyžaduje u pacientů s DMO značnou míru kognitivních dovedností (De Luca et al., 2019). Jednotlivé programy VR sice mají možnost upravit obtížnost a vybrat z mnoha her, ale je otázkou, zda měli všichni účastníci studií dostatečnou úroveň kognitivních dovedností pro zvolené hry a zda byly jednotlivé terapie přizpůsobovány a voleny individuálně.

3.2.3 Poškození míchy

V současné době je snaha implementovat VR i do rehabilitace pacientů s poškozením míchy. Jednotlivé studie však naznačují různé výsledky.

Z metaanalýzy De Araújo (2019) vyplývají důkazy o účinnosti terapie VR u pacientů s poškozením míchy na motorické funkce, rovnováhu, aerobní funkce a úroveň bolesti. Potenciální výhody terapie VR k obnovení rovnováhy byly podpořeny i výsledky z dalších studií (Alashram et al, 2020, s. 326; De Miquel-Rubio et al, 2020b; Lee et Lee, 2021, s. 325-326). Abou et al (2020) zkoumal tuto problematiku detailněji a prokázal, že terapie s využitím VR může pomoci zlepšit jak rovnováhu vsedě, tak ve stoji, což následně může příznivě ovlivnit i kvalitu chůze. Významné zlepšení rovnováhy pomocí terapie VR oproti klasické konvenční metodě udává i Manzanares et al (2021), který mimo to poukazuje i na významné zlepšení mobility, ale hlavně celkové kvality života.

Naopak nejisté výsledky vyplynuly ze systematického přehledu od De Miquel-Rubio (2020c) zkoumající vliv tréninku VR na celkový funkční výkon

u jedinců s poraněním míchy. Ten tvrdí, že trénink VR nemusí být účinnější než konvenční rehabilitace. Stejně tak De Miquel-Rubio et al (2020a) ve svém dalším systematickém přehledu uvádí, že terapie s využitím VR nepřináší významné pozitivní účinky ani na motorické funkce horních končetin ve srovnání s konvenční fyzikální terapií. V případě, že se ale posuzovala účinnost kombinace systémů VR a konvenční terapie, výsledky systematického přehledu naznačovaly dobrou tendenci k funkčnímu zotavení (Garcia-Garcia et al, 2019).

Názory a výsledky studií zabývajících se účinností VR v rehabilitaci pacientů s poškozením míchy jsou různé. Každý systematický přehled však v závěru poukazoval na nedostatek kvalitních studií a jasných důkazů.

3.3 Posturální stabilita

V této práci hodnotím ve své podstatě schopnosti posturální stability probandů. Posturální stabilita je dynamický děj, který nám zajišťuje vzpřímené držení těla, a to v jakékoli poloze včetně pohybu. Umožňuje nám reagovat na změny vnějších a vnitřních sil tak, aby nedošlo k nekontrolovatelnému pádu. S poruchou stability se setkáváme u velkého počtu pacientů, převážně u starších jedinců z důvodu svalového oslabení, pacientů s neurologickými obtížemi jako je centrální paréza nebo diabetická neuropatie, ale i u mnoha dalších případů. Tito jedinci mají obtíže při běžné lokomoci a mají mnohem větší pravděpodobnost pádu či zranění, které mohou vyústit až ve fatální následky. Kromě toho mívají problémy se samoobsluhou a jsou tak často odkázáni na pomoc rodinných příslušníků nebo sociálních či zdravotních služeb, což nese výrazně vyšší náklady na péči. V dnešní době je proto této problematice věnovaná zvýšená pozornost a je předmětem mnoha výzkumů (Vařeka, 2002, s. 115-116; Kolář, 2020, s. 39).

Posturální stabilitu jedince ovlivňují dva faktory, a to neurofyziologický a biomechanický. Posturální stabilita závisí na schopnosti centrálního nervového systému (CNS) zpracovat a integrovat informace ze zraku, somatosenzorického systému a vestibulárního systému a modulovat tyto informace do eferentních výstupů pohybového aparátu. Každá z těchto složek je nepostradatelná a jejich neoddělitelnost je důležitou vlastností posturální stability. Mezi biomechanické faktory ovlivňující posturální stabilitu řadíme velikost opěrné plochy, což je v případě stoje část podložky, která je v přímém kontaktu s ploskami nohou. Dalšími faktory jsou např. hmotnost jedince nebo výška těžiště (Center of Mass, COM) jedince nad opěrnou bází (Base of Support, BS), čímž rozumíme opěrné plochy a vše mezi nimi (Vařeka, 2002, s. 116-117; Kolář, 2020, s. 198-199).

3.4 Vyšetření posturální stability

V praxi se posturální stabilita hodnotí pomocí klinického nebo přístrojového vyšetření. Nejběžnějšími klinickými testy jsou různé modifikace stoje a chůze, nebo celkové funkční testování zaměřující se na funkční limity v ADL. Ačkoli je tento způsob vyšetření rychlý a snadno proveditelný, jeho velkou nevýhodou je subjektivita hodnocení. V posledních letech se proto mnohem více využívá moderní přístrojová technika, která nám pomocí senzitivnějšího měření umožňuje lépe objektivizovat a vyhodnocovat naměřená data (Paillard et Noé, 2015; Liang et al, 2022).

3.4.1 Stabilometrie

Nejvyužívanější přístrojová metoda, pomocí které získáváme informace o míře titubace jedince během stoje, se nazývá stabilometrie nebo také posturografie. Principem stabilometrie je snímání parametru COP (Center of Pressure) v čase. COP značí střed rozložení tlaku neboli bod, kolem kterého je

rovnoměrně rozprostřena výsledná kontaktní (reakční) síla působící po celé styčné ploše segmentů těla s plošinou. Výsledný grafický záznam zobrazující trajektorii pohybu COP v anteroposteriorním (AP) a mediolaterálním (ML) směru v čase se nazývá stabilogram. Vyšetření se provádí pomocí stabilometrických systémů obsahující tenzometrické desky s množstvím tlakových senzorů kapacitního nebo odporového typu, které zaručují spolehlivé a kvantitativní výsledky měření. V případě, že kvantifikujeme posturální výchylky těla na pevné stabilometrické plošině, mluvíme o stabilometrii statické. V opačném případě vyšetření, kdy pacient stojí na labilní plošině a musí reagovat na nepředvídatelné změny zevního prostředí, se jedná o stabilometrii dynamickou (Paillard et Noé, 2015; Kolář, 2020, s. 198-199).

Stabilometrické plošiny jsou však cenově hůře dostupné a jsou limitované pro terénní využití kvůli velikosti a váze těchto plošin. Z tohoto důvodu je snaha nalézt alternativní možnost objektivního měření posturální stability, která by byla cenově dostupnější, flexibilnější pro přenos a zároveň aby byla stejně spolehlivá. Některé výzkumy se snažily navrhnout stabilometrickou plošinu řešící zmíněné obtíže (Lo et al, 2022), nicméně slibnější alternativou se zdá být využití inerciálních senzorů připevněných k tělu, které jsou levné, přenosné a schopné měřit frekvenci a intenzitu pohybu (Vasilyev, 2019; Craig et al, 2022).

3.4.2 Inerciální senzory ve stabilometrii

Potenciál uplatnění inerciálních senzorů ve stabilometrii byl podpořen řadou výzkumů (Kotas et al, 2019; De Groote et al, 2021; Van der Veen et Thomas, 2021). Díky jejich flexibilitě, hmotnosti a velikosti je můžeme přidělat na jakoukoli část lidského těla a poté je otázkou, jaká varianta nám poskytne srovnatelné informace o stabilitě stoje s měřením pomocí stabilometrické plošiny. Ve studiích byly zkoumány především dvě oblasti umístění

inerciálních senzorů, a to hlava a bederní oblast. De Groot et al (2021) posuzoval rovnováhu pomocí inerciálních senzorů umístěných v chytrém telefonu, který byl probandům připevněn na bederní oblast. V závěru uvedl, že by byl zvolený způsob spolehlivý pouze za předpokladu, že by samotná měření byla delší nebo opakována častěji ve srovnání s měřením na silových deskách. Ve studiích Van der Veen et Thomas (2021) a Liang et al (2022) hodnotili posturální stabilitu probandů systémem založeným na VR, a to pomocí jednoho senzoru umístěného na bederní oblast a zároveň dvou senzorů umístěných na hřbetech nohou. Navržený systém se v závěru studií jevil jako jednoduchý a spolehlivý nástroj pro hodnocení posturální stability.

Využití inerciálních senzorů ke snímání pohybů hlavy pro stabilometrické účely podpořily studie od Ciria et al (2017) a Marchetto et Wright (2019), neboť poukázaly na vysokou korelaci a koherenci hodnot mezi pohybem hlavy a změnou COP v čase. Jelikož jsou zmíněné inerciální senzory zabudovány právě do headsetu VR, nabízí se tím pádem jako platná a efektivní metoda posturálního měření. Velkou výhodou využití headsetu VR ve stabilometrii by byla i cenová dostupnost, neboť headset VR se pohybuje v řádu nižších desítek tisíců, kdežto stabilometrická plošina až statisíců (Sylcott et al, 2021; Craig et al, 2022; Rosiak et al, 2022).

Je potřeba zmínit, že měření pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny funguje na odlišném principu. Headset má díky svým inerciálním senzorům možnost měřit pohyby a výkyvy části těla, na kterou je připevněn (tedy hlavy) v prostoru. Naměřené hodnoty jsou zde prezentovány jako tříosá soustava souřadnic. Pokud odebereme jednu osu, upravíme data pouze na pohyb v transverzální rovině a můžeme z dat dopočítat požadované parametry a vytvořit tak stabilogram srovnatelného rázu jako ze stabilometrické plošiny. Stabilometrická plošina pak měří výchylky pomocí snímání COP, tedy změn

působíště vektoru reakční síly na podložku. Ze změn působíště v čase se následně zpracovává stabilogram tak, jak ho známe.

Na první pohled by se mohlo zdát, že vzhledem k odlišnému způsobu měření nebude mezi přístroji příliš velká shoda. V současnosti však z výzkumů a studií vyplývá, že obě měřící techniky jsou vhodné pro kvantitativní zhodnocení systému lidské rovnováhy a že existuje vzájemná provázanost mezi hodnotami z headsetu VR a stabilometrické plošiny (Marchetto et Wright, 2019; Soltani et Andrade, 2021; Sylcotta et al 2021; Craig et al, 2022).

3.4.3 Využití headsetu VR k přístrojovému vyšetření dynamické posturografie

Statická stabilometrie nám umožňuje kvantitativně zhodnotit pacientův balanční deficit, čehož využíváme převážně při posuzování vlivu terapie na poruchy stability. Zjišťujeme, jak moc velká je ztráta stability stoje a zda na ní má vliv otevření či zavření očí. Je však důležité poznamenat, že samotná statická stabilometrie není dostatečná pro určení konkrétní příčiny obtíží. Pro lepší funkční zhodnocení posturální stability je zapotřebí provést i dynamické testy nebo použít další technologie k měření smysluplných změn v mechanismech řízení rovnováhy (Kotas et al, 2019; Kolář, 2020, s. 199; Keshner et al, 2023).

Alternativou je využití počítačové dynamické posturografie (angl. Computerized Dynamic Posturography, CDP), ze které je nejvíce využíváný počítačový systém EquiTest od firmy NeuroCom. Tento nástroj nám umožňuje měření standardizovaných testů pro hodnocení rovnováhy jako je Sensory Organization Test (SOT), které nám pomáhají analyzovat relativní podíl vizuálního, somatosenzorického nebo vestibulárního systému na udržení stability (Wittstein et al, 2020). I přesto, že je metoda CDP spolu se stabilometrií

považována za zlatý standard pro hodnocení posturální stability, stále mezi její velké nedostatky patří vysoká finanční náročnost, nemožnost přenosu a měření posunu COP pouze v AP směru. Současný pokrok v technologii nám poskytuje příležitost tato omezení snížit pomocí mobilního a finančně dostupného headsetu VR, který nám navíc dovoluje provádět variabilnější testy rovnováhy (Kotas et al, 2019).

Věrohodnost využití headsetu VR jako alternativy nejen ke stabilometrické plošině, ale i k počítačovému systému EquiTest, zkoumal Wittstein et al (2020). V závěru práce prokázala střední spolehlivost a slabou korelaci mezi testováním SOT pomocí VR headsetu a EquiTestu. Podobný záměr měli Moon et al (2021), kteří se také snažili vymyslet alternativu k měření SOT pomocí EquiTestu. V jejich případě využívali headset VR pouze k simulaci jednotlivých testování SOT změnou ve virtuální scéně, kdy výchylky COP byly měřeny za pomoci stabilometrické desky. Zmíněná problematika má však i své limity, které je zapotřebí nadále zkoumat. Je třeba do studií zahrnout větší testovací soubor, který se bude kromě zdravé populace skládat i z jedinců trpícími poruchami stability, a dále prozkoumat různé varianty testovací scény virtuálního světa.

3.5 Využití virtuální reality v terapii pacientů s poruchami stability

Výzkumy v dnešní době potvrzují účinnost využití VR v tréninku stability, a to konkrétně u pacientů s chronickou CMP (Cortés-Pérez et al, 2020), pacientů s DMO (Ravi et al, 2017; Chen et al, 2018, s. 74) nebo s roztroušenou sklerózou (Ozkul et al, 2020; García-Muñoz et al, 2022). Problematika využití VR v terapii poruch stability, které jsou zapříčiněny neurologickým onemocněním, byla již zmíněna v kapitole Využití virtuální reality v neurorehabilitaci. V této kapitole

se proto zaměřím na terapii poruch stability převážně u seniorů, jejichž poruchy rovnováhy jsou zapříčiněny samotným procesem stárnutí.

Posturální nestabilita je u starších jedinců jedna z hlavních klinických poruch, se kterými se tito jedinci potýkají. Dochází k ní hlavně v důsledku snížené rychlosti neuromuskulární odpovědi a motorického plánování, degenerace a ztuhlosti kloubů či proprioceptivních změn (De Amori et al, 2018). V případě větších ztrát rovnováhy jsou starší jedinci ohroženi rizikem pádu, který je u nich jednou z hlavních příčin zdravotního postižení a může mít až fatální následky. Aby se takovýmto scénářům předcházelo, je třeba udržovat seniory v kondici pravidelným tréninkem chůze a stability. Jelikož tvoří starší jedinci výraznou část populace, není divu, že je právě tato problematika neustále předmětem zkoumání (Kamińska et al., 2018; Lima Rebêlo et al, 2021).

V dnešní době existuje již spousta druhů cvičebních programů určených ke zlepšení posturální stability a pro prevenci pádů a hojně se využívá právě i technologie VR. Ve studiích zaměřujících se na trénink stability seniorů s využitím VR se setkáváme nejčastěji s využitím technologií Xbox 360 Kinect nebo Wii Balance Board. Právě účinnost technologie Xbox 360 Kinect posuzovala studie Kamińska et al (2018), která dospěla k závěru, že trénink založený na VR zvyšuje možnosti motorického tréninku a může pomoci snížit riziko pádu zlepšením statické a dynamické rovnováhy.

Donath et al (2016) ve svém systematickém přehledu udává, že technologie VR se zdá být slibným prostředkem k řešení rostoucí fyzické dysfunkce u seniorů. Většina studií se zaměřila na trénink statické nebo dynamické rovnováhy a chůze. I když byla mezi jednotlivými studiemi značná variabilita zvolených tréninkových režimů (typ cvičení, trvání, opakování a série) a zvolených technologií VR, většina z nich odhalila pozitivní účinky cvičení

s využitím VR na parametry rovnováhy u starších osob. Donath et al (2016) viděl limity předchozích průzkumů v tom, že neporovnávaly účinky terapie VR s jiným typem cvičebního tréninku nebo s případem bez jakékoli terapeutické intervence, a proto se zaměřil ve svém výzkumu právě na tuto problematiku. V závěru uvedl, že se balanční trénink založený na VR jeví spíše jako přijatelná doplňková metoda pro zlepšení rovnováhy u starších jedinců, nežli jako náhrada za standardní tréninkové postupy. Podobný cíl měl i systematický přehled od Neri et al (2017), kde na rozdíl od předchozí práce došli k tomu, že terapie s využitím VR má pozitivní účinky na zlepšení rovnováhy a mobility ve srovnání s konvenčními metodami. Vzhledem k vysokému riziku zkreslení a velké variabilitě intervenčních protokolů mezi jednotlivými studii však důkazy zůstávají neprůkazné.

Výsledky studií naznačují, že terapie s využitím VR je přijatelnou metodou pro zlepšení posturální stability a funkční mobility u seniorů, ale její účinnost se výrazně neliší oproti jiným standardně využívaným způsobům fyzioterapeutické intervence. Oproti jiným způsobům má však terapie VR zásadní přidanou hodnotu. U starších dospělých se často setkáváme s tím, že nedodržují doporučený režim cvičebního programu z různých důvodů, kdy hlavním z nich je nedostatek motivace. Právě atraktivitu herního prvku VR udávali probandi ve studiích jako klíčový faktor, který dokáže pozitivně změnit jejich postoj ke cvičení (Donath et al, 2016, Valenzuela et al, 2018).

Tato zpětná vazba nás spolu s výsledky studií potvrzující účinnosti VR na posturální stabilitu u starších jedinců utvrzuje v tom, že je důležité zlepšit poskytování moderních služeb starším lidem. Li et al (2022) ve své studii prosazují názor, že intervence založené na VR by mohly být bezpečným a účinným přístupem ke zlepšení fyzické zdatnosti starších obyvatel v zařízeních dlouhodobé péče, kde není dostatečná kapacita personálu. Mimo

jiné bylo publikováno již několik systematických studií, které shrnují důkazy efektivního využití technologie VR pro snížení rizika pádů u starších dospělých, snížení bolesti, zlepšení držení těla, mobility, kognitivních funkcí a emocionální pohody.

3.5.1 Využití headsetu VR v terapii pacientů s poruchami stability

Převážná většina studií využívala k terapii poruch stability starších jedinců neimerzivní VR, nicméně existují i studie zkoumající využití plně-imerzivní VR v této problematice.

Studie Phu et al (2019) zkoumala využití Balance Rehabilitation Unit (BRU), což je systém VR používaný k terapii poruch rovnováhy. Pacient stojí na pěnové podložce, která je položena na silové platformě, a na hlavě má umístěný headset VR, kde jsou mu promítány hry. Výsledky měření poukazují na lepší kontrolu statického držení těla, která následně snižuje riziko pádu u vysoce rizikových starších osob. V závěru studie zdůrazňují potenciální využití plně imerzivní VR jako praktické alternativy ke zlepšení výsledků balančního tréninku pro snížení rizika pádů u starších dospělých.

Lima Rebêlo et al (2021) taktéž prozkoumávali využití plně imerzivní VR s využitím headsetu VR. Studie se zúčastnilo 37 seniorů s poruchami stability zapříčiněnými procesem stárnutí. Polovina absolvovala 16 sezení tréninku rovnováhy v podobě konvenční fyzioterapie a druhá polovina s pomocí plně imerzivní VR. Výsledky studie naznačují, že balanční trénink v plně imerzivní VR se ukázal jako účinný pro výsledky funkční i statické stability, ale nebyl lepší než konvenční terapie.

4 METODIKA

Praktická část diplomové práce se zabývá sběrem dat ze stabilometrického měření, které bylo prováděno pomocí dvou rozdílných přístrojů – headsetu VR a stabilometrické plošiny. Následně byla provedena statistická analýza naměřených dat a provedeno porovnání mezi zmíněnými přístroji.

4.1 Charakteristika probandů

Pro potřeby diplomové práce se stabilometrického měření zúčastnilo celkem 72 probandů rozdělených do tří skupin, a to do kontrolní skupiny skládající se ze zdravých jedinců, do skupiny probandů s bolestmi bederní páteře (Lp) a do skupiny seniorů. Data byla sbírána v období od června roku 2022 až do února roku 2023. Probandi s bolestmi Lp byli vybíráni z řad pacientů v ambulantním zařízení Certifikované McKenzie Kliniky Kladno, kde samotná měření také probíhala. Do kontrolní skupiny byli zařazováni převážně jedinci z řad studentů fyzioterapie, kolegů a rodinných příslušníků. Jedinci ze skupiny seniorů byli měřeni v různých domovech pro seniory, a to v Domově pro seniory Háje, v Domově pro seniory Kladno a v Domově Kladno – Švermov.

Charakteristika skupin, které se zúčastnily experimentálního měření, je znázorněná v tabulce 1, kde n značí počet probandů.

Tabulka 1 - Charakteristika jednotlivých skupin (vlastní zdroj)

	Kontrolní sk. (n=24)	Bolesti Lp (n=25)	Senioři (n=23)
Věk (rok)	39,1	45,8	78,4
Váha (kg)	72,9	79,3	79,2
Výška (m)	168,3	171,6	164,7

Kontrolní skupina skládající se ze zdravých jedinců měla nejnižší věkový průměr ze všech. Pro zařazení do této skupiny musela být u jedinců vyloučená

následující exkluzivní kritéria: kognitivní poruchy, zánětlivá onemocnění, nádorová a neurologická onemocnění a muskuloskeletální obtíže.

Skupina probandů s bolestmi Lp byla tvořila největším počtem jedinců. Inkluzivními kritérii pro zařazení do této skupiny byly: věk 20 – 65 let a v posledním týdnu přítomnost vyzařující bolesti z bederní páteře do dolní končetiny. Současně musela být vyloučena následující exkluzivní kritéria: kognitivní poruchy, zánětlivá onemocnění, nádorová a neurologická onemocnění.

Skupinu seniorů tvořilo naopak nejméně jedinců ze všech. Inkluzivními kritérii pro zařazení do této skupiny byly: věk nad 65 let, schopnost stát bez kompenzační pomůcky po dobu alespoň jedné minuty. Současně musela být vyloučena následující exkluzivní kritéria: kognitivní poruchy, zánětlivá onemocnění, nádorová a neurologická onemocnění.

4.2 Použité metody

Všichni probandi podstoupili stejnou sérii vyšetření. Byla využita dvě stejná měření provedená na dvou rozdílných přístrojích, tzn. celkově čtyři měření. V praxi se jednalo o vyšetření stability stoje pomocí Rombergova testu. Rombergův test je nejznámější a v praxi nejvyužívanější klinický test, který má 3 stupně. Pro potřeby této práce byl testován Romberg II, což je stoj spatný s otevřenýma očima. Každý pacient byl změřen pomocí stabilometrické plošiny freeMED Maxi 70x50 v kombinaci se softwarem FreeStep Pro od firmy Sensor Medica a následně podstoupil test stability stoje pomocí VR headsetu Oculus Quest 2 (Oculus VR, LLC; USA) se speciální vlastně navrženou aplikací od společnosti VR Medical.

4.3 Průběh měření

Před samotným měřením podepsali všichni probandi informovaný souhlas, v němž byli poučeni o obsahu a významu této práce, průběhu vyšetření a o nakládání s osobními údaji.

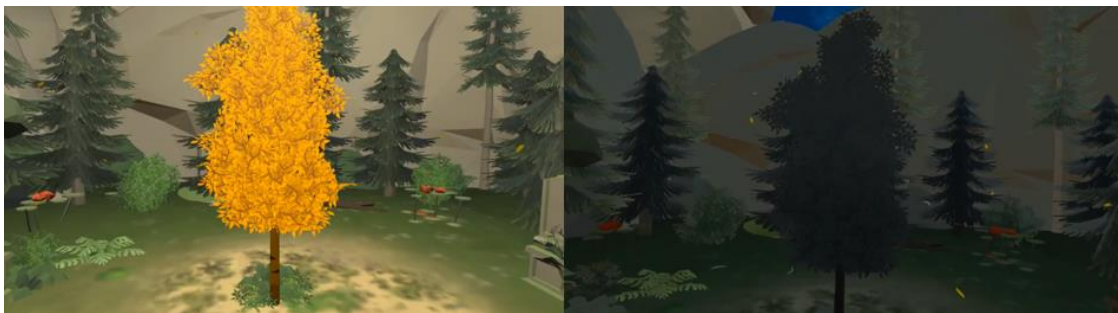
Následovalo stabilometrické měření (viz obrázek 2), které bylo provedeno nejprve na stabilometrické plošině. Každý proband byl požádán, aby si zuby vzpřímeně se postavil na plošinu s horními končetinami volně podél těla, dal nohy co nejbližší k sobě a oči nechal otevřené, tedy výchozí pozice pro test Romberg II. Následně byl vyzván, aby během vyšetření nemluvil, neotáčel se do stran a očima fixoval jeden bod před sebou. Měření trvalo 30 s a o jeho začátku i konci byl každý jedinec vždy informován. Pro ověření reliability hodnot zaznamenaných přístrojem bylo měření bezprostředně poté opakováno.



Obrázek 2 - Znárodnění praktického měření stability stoje pomocí stabilometrické plošiny a headsetu VR – pohled zředu a z boku (vlastní zdroj)

Po dokončení měření na stabilometrické plošině se pacient postavil na zem a na hlavu mu byl připevněn headset VR. Před začátkem měření dostal proband stejné instrukce jako při měření na stabilometrické plošině, neboť bylo cílem dodržet stejný průběh a podmínky. V headsetu VR byla probandovi pouštěna speciálně navržená aplikace firmou VR Medical určená pro hodnocení

stability stoje, jejíž virtuální scéna je znázorněna na obrázku 3. Proband se díval na jasně žlutý strom, postupně se stmívalo a následně se opět rozednělo. Proband dostal opět instrukci zrakem fixovat jeden konkrétní bod. Tento proces trval 1 minutu, nicméně pro porovnání stejných časových intervalů bylo použito pouze prvních 30 s naměřených hodnot, kdy ještě nedošlo k setmění. I toto měření bylo pro ověření reliability opakováno dvakrát.



Obrázek 3 - Virtuální scéna z aplikace navržené firmou VR Medical (vlastní zdroj)

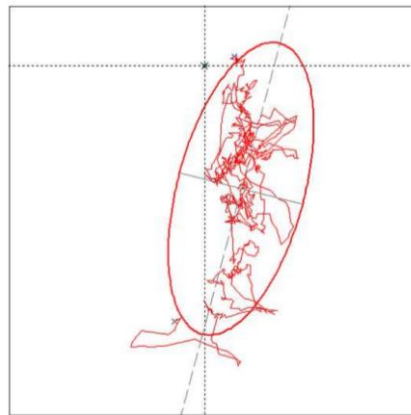
Jelikož se jednalo o výzkum pouze diagnostické metody a žádná terapie nebyla zahrnuta, byl každý proband dvakrát vyšetřen v rámci jedné návštěvy.

4.4 Statistická analýza dat

Data z přístrojů byla vyhodnocována z intervalů dlouhých 30 s. Surový výstup obou přístrojů jsou data v podobě změn poloh v systému souřadnic. Tato data bylo potřeba upravit a vypočítat z nich jednotlivé parametry stabilometrického vyšetření. Pro účely diplomové práce bylo zvoleno těchto 7 parametrů:

- Délka křivky [mm] – délka trajektorie pohybu hlavy (měřena headsetem VR) a délka trajektorie COP (měřena stabilometrickou plošinou);
- plocha konfidenční elipsy [mm²] – velikost plochy, ve které se nachází 95 % poloh hlavy/COP;

- poměr L/S [-] – poměr délky křivky a plochy konfidenční elipsy;
- průměrná rychlost [mm/s] – pohybu hlavy/COP, která mimo jiné značí úroveň svalového úsilí vynaloženého na udržení vzpřímeného stoje;
- delta X [mm] – rozdíl maximální a minimální hodnoty v ML směru;
- delta Y [mm] – rozdíl maximální a minimální hodnoty v AP směru;
- sklon elipsy [°] – sklon elipsy opisující krajní polohy hlavy/COP.



Obrázek 4 - Grafické znázornění délky křivky a konfidenční elipsy (vlastní zdroj)

Software FreeStep párovaný se stabilometrickou plošinou dokáže tyto parametry ze surových dat dopočítat sám, bylo proto zapotřebí upravit pouze data z VR headsetu. Data byla po jejich úpravě přehledně zanesena do tabulek a všechny statistické analýzy a zpracování grafů bylo provedeno v tabulkovém procesoru MS Excel a softwaru GraphPad Prism 9.

Pomocí předběžné vizuální analýzy dat byli v souborech nalezeni jedinci s hodnotami značně vyčnívající mezi ostatními (tzv. *outliers*), tedy extrémní hodnoty, a pomocí Shapiro-Wilkova testu bylo u všech proměnných zjištěno nenormální rozdělení dat. Vzhledem k nenormálnímu rozdělení dat byly voleny adekvátní metody statistické analýzy.

Hlavním cílem analýzy bylo zjistit, zda existuje korelace mezi hodnotami naměřenými pomocí VR a pomocí stabilometrické plošiny. Pokud by se potvrdil vysoký stupeň korelace mezi jednotlivými přístroji, můžeme to považovat za známku toho, že výsledky jsou mezi sebou ve vzájemném vztahu a VR by bylo potenciálně možné použít pro účely stabilometrického vyšetření. U všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření byl vypočítán Spearmanův korelační koeficient jednotlivě u všech skupin. Hladina statistické významnosti byla stanovena na $\alpha = 0,05$ a hodnocení korelačních koeficientů (r) je znázorněno v tabulce 2.

Tabulka 2 - Hodnocení míry korelace dle hodnoty korelačního koeficientu (vlastní zdroj)

r	Hodnocení korelace
0-0,199	žádná až velmi slabá korelace
0,2-0,399	slabá korelace
0,4-0,599	středně silná korelace
0,6-0,799	silná korelace
0,8-1	velmi silná korelace

Dalším cílem statistické analýzy dat bylo zjistit, zda je měření stability stoje pomocí headsetu VR a pomocí stabilometrické plošiny spolehlivá metoda ve smyslu opakovatelnosti měření. Reliabilita měření byla vypočítána pomocí Wilcoxonova párového testu u každé skupiny zvlášť. Hladina statistické významnosti byla opět stanovena na $\alpha = 0,05$. Reliabilita byla ověřována jak na základě vypočtených P-hodnot, tak na základě vypočtených hodnot testové statistiky (T) a kritických hodnot, které tabulkově odpovídají velikosti souboru (n) viz tabulka 3.

Tabulka 3 - Tabulkové kritické hodnoty odpovídající velikosti souboru (n) na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ (vlastní zdroj)

n	$\alpha = 0,05$
23	73
24	81
25	89

5 VÝSLEDKY

5.1 Statistické testování hypotézy H_1

Prvním sledovaným parametrem statistické analýzy byla vzájemná korelace mezi naměřenými daty z headsetu VR a stabilometrické plošiny. Aby bylo statistické testování co nejpřesnější, byla provedena nejprve korelace hodnot mezi 1. měřením headsetem VR a 1. měřením stabilometrickou plošinou a následně korelace mezi 2. měřením headsetem VR a 2. měřením stabilometrickou plošinou. Každá skupina probandů byla hodnocena zvlášť, a proto byla v kapitole výsledků hypotéza 1 rozdělena na tři dílčí, a to na H_{1a} týkající se korelace hodnot u kontrolní skupiny, H_{1b} u skupiny probandů s bolestmi L_p a H_{1c} u skupiny seniorů. Korelační koeficienty (r) byly spočítány postupně pro každý parametr a jejich výsledky jsou zaznamenány v tabulkách 4 – 9.

Hypotéza 1a:

H_{1a0} : Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u kontrolní skupiny spolu vzájemně nekorelují.

H_{1aA} : Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u kontrolní skupiny spolu vzájemně korelují.

V tabulce 4 a 5 můžeme vidět výsledky korelace mezi naměřenými daty pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u kontrolní skupiny.

Tabulka 4 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u kontrolní skupiny včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 1. měření (vlastní zdroj)

Kontrolní sk. - 1. měření	r	95% CI	P-hodnota
Délka křivky [mm]	-0,116	(-0,505; 0,313)	0,590
Plocha elipsy [mm ²]	0,364	(-0,058; 0,676)	0,080
Poměr L/S [-]	0,334	(-0,093; 0,657)	0,111
Průměrná rychlost [mm/s]	-0,083	(-0,480; 0,343)	0,701
Delta X [mm]	0,371	(-0,050; 0,681)	0,074
Delta Y [mm]	0,350	(-0,075; 0,667)	0,094
Sklon elipsy [°]	0,107	(-0,321; 0,499)	0,618

Tabulka 5 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u kontrolní skupiny včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 2. měření (vlastní zdroj)

Kontrolní sk. - 2. měření	r	95% CI	P-hodnota
Délka křivky [mm]	-0,049	(-0,454; 0,373)	0,821
Plocha elipsy [mm ²]	0,090	(-0,337; 0,486)	0,677
Poměr L/S [-]	-0,131	(-0,517; 0,299)	0,542
Průměrná rychlost [mm/s]	0,001	(-0,413; 0,415)	0,995
Delta X [mm]	0,451	(0,046; 0,729)	0,027*
Delta Y [mm]	0,101	(-0,327; 0,494)	0,639
Sklon elipsy [°]	-0,032	(-0,440; 0,387)	0,884

V tabulce 4, která se týká 1. měření, poukazují vypočtené Spearmanovo korelační koeficienty u všech sledovaných parametrů na velmi slabou až slabou korelaci mezi měřením stability stoje pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny. To potvrzují i vypočtené P-hodnoty, které nabývají hodnot $p > 0,05$, a tudíž neprokazují statisticky významnou korelaci ani u jednoho sledovaného parametru.

Mezi 1. a 2. měřením u kontrolní skupiny můžeme sledovat významnou změnu pouze v jednom z parametrů, a to u delty X, kde $p = 0,027$. Z tabulky 5 znázorňující výsledky 2. měření vyplývá, že statisticky signifikantní korelace parametru delta X se na základě hodnoty korelačního koeficientu $r = 0,451$ dá považovat za středně silnou. Korelační koeficienty u všech ostatních parametrů značí velmi slabou korelaci a 1 parametr dokonce téměř žádnou.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{1a0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{1aA} . Nebyla prokázána vzájemná korelace hodnot všech sledovaných parametrů získaných měření pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u kontrolní skupiny.

Hypotéza 1b:

H_{1b0} : Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měření pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny probandů s bolestmi Lp spolu vzájemně nekorelují.

H_{1bA} : Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měření pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny probandů s bolestmi Lp spolu vzájemně korelují.

V tabulce 6 a 7 jsou znázorněny výsledky korelace mezi naměřenými daty pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny probandů s bolestmi bederní páteře. U této skupiny se v porovnání s kontrolní skupinou podařilo dosáhnout statisticky signifikantní korelace u většího počtu sledovaných parametrů.

Tabulka 6 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny probandů s bolestmi Lp včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 1. měření (vlastní zdroj)

Bolesti Lp - 1. měření	r	95% CI	P-hodnota
Délka křivky [mm]	0,305	(-0,115; 0,632)	0,139
Plocha elipsy [mm ²]	0,610	(0,272; 0,814)	0,001*
Poměr L/S [-]	0,326	(-0,092; 0,646)	0,112
Průměrná rychlost [mm/s]	0,153	(-0,269; 0,526)	0,465
Delta X [mm]	0,318	(-0,099; 0,641)	0,121
Delta Y [mm]	0,431	(0,031; 0,712)	0,032*
Sklon elipsy [°]	-0,059	(-0,453; 0,355)	0,781

Tabulka 7 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny probandů s bolestmi Lp včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 2. měření (vlastní zdroj)

Bolesti Lp - 2. měření	r	95% CI	P-hodnota
Délka křivky [mm]	0,379	(-0,031; 0,680)	0,062
Plocha elipsy [mm ²]	0,506	(0,127; 0,756)	0,010*
Poměr L/S [-]	0,211	(-0,213; 0,568)	0,311
Průměrná rychlost [mm/s]	0,635	(0,310; 0,828)	0,001*
Delta X [mm]	0,264	(-0,159; 0,605)	0,203
Delta Y [mm]	0,453	(0,058; 0,725)	0,023*
Sklon elipsy [°]	0,165	(-0,258; 0,535)	0,431

Z 1. měření, které je znázorněno v tabulce 6, můžeme za statisticky signifikantní považovat výsledky u 2 parametrů, a to u plocha elipsy ($p = 0,001$) a delta Y ($p = 0,032$). Na základě hodnoty $r = 0,610$ je korelace parametru plocha elipsy považována za silnou, kdežto u parametru delta Y značí $r = 0,431$ korelaci středně silnou. Zbylé parametry byly ohodnoceny jako žádná až velmi slabá korelace, čemuž odpovídají i vypočtené P-hodnoty.

Tabulka 7 znázorňuje výsledky 2. měření, ve kterém došlo k potvrzení signifikantní korelace u parametrů plocha elipsy ($p = 0,010$) a delta Y ($p = 0,023$), jako tomu bylo u 1. měření. Korelace byly však ohodnoceny na základě vypočtených korelačních koeficientů $r = 0,506$ a $r = 0,453$ za středně silnou. Krom zmíněných parametrů byla zjištěna statisticky signifikantní korelace navíc u průměrné rychlosti ($p = 0,001$), která je na základě hodnoty $r = 0,635$ hodnocena jako silná. Zbylé parametry byly ohodnoceny jako velmi slabá až slabá korelace, pouze u délky křivky se hodnoty blížily statistické významnosti.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{1b0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{1bA} . Nebyla prokázána vzájemná korelace hodnot všech sledovaných parametrů získaných měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny probandů s bolestmi Lp.

Hypotéza 1c:

H1c0: Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny seniorů spolu vzájemně nekorelují.

H1cA: Hodnoty všech sledovaných parametrů získané měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny seniorů spolu vzájemně korelují.

V tabulce 8 a 9 jsou znázorněny výsledky korelace mezi naměřenými daty pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny seniorů. Výsledky dosahují statisticky signifikantní korelace u největšího počtu sledovaných parametrů ze všech skupin.

Tabulka 8 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny seniorů včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 1. měření (vlastní zdroj)

Senioři - 1. měření	r	95% CI	P-hodnota
Délka křivky [mm]	0,448	(0,031; 0,732)	0,032*
Plocha elipsy [mm ²]	0,474	(0,064; 0,747)	0,022*
Poměr L/S [-]	0,421	(-0,002; 0,716)	0,045*
Průměrná rychlost [mm/s]	0,360	(-0,074; 0,680)	0,091
Delta X [mm]	0,200	(-0,244; 0,574)	0,361
Delta Y [mm]	0,480	(0,072; 0,751)	0,020*
Sklon elipsy [°]	-0,433	(-0,724; -0,013)	0,039*

Tabulka 9 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny seniorů včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 2. měření (vlastní zdroj)

Senioři - 2. měření	r	95% CI	P-hodnota
Délka křivky [mm]	0,426	(0,004; 0,719)	0,043*
Plocha elipsy [mm ²]	0,417	(-0,007; 0,714)	0,048*
Poměr L/S [-]	0,053	(-0,379; 0,465)	0,811
Průměrná rychlost [mm/s]	0,428	(0,006; 0,720)	0,042*
Delta X [mm]	0,296	(-0,145; 0,639)	0,170
Delta Y [mm]	0,406	(-0,020; 0,708)	0,054
Sklon elipsy [°]	-0,114	(-0,512; 0,324)	0,604

V 1. měření, jehož výsledky jsou znázorněny v tabulce 8, bylo dosaženo statisticky signifikantní korelace u 5 sledovaných parametrů ze 7, a to u délky křivky ($p = 0,032$), plochy elipsy ($p = 0,022$), poměru L/S ($p = 0,045$), delty Y ($p = 0,020$) a u sklonu elipsy ($p = 0,039$). U všech zmíněných parametrů byly korelace hodnoceny na základě vypočtených korelačních koeficientů za středně silnou. Zbylé 2 parametry vykazují známky slabé korelace, čemuž odpovídají i samotné P-hodnoty.

Mezi 1. a 2. měřením u skupiny seniorů jsou značné rozdíly. Z tabulky 9 znázorňující výsledky 2. měření je patrné, že došlo k potvrzení statisticky signifikantní korelace pouze u 2 parametrů z původních 5, a to u délky křivky ($p = 0,043$) a plochy elipsy ($p = 0,048$). Hodnocení míry korelace u těchto parametrů vyšlo stejně jako u 1. měření, a je tedy považována za středně silnou. Nově však vyšla statisticky významná korelace u parametru průměrná rychlost, kde $p = 0,042$ a $r = 0,428$, což značí opět středně silnou korelaci. U parametru delta Y by se na základě korelačního koeficientu $r = 0,406$ mohla korelace jevit jako středně silná, nicméně hodnota $p = 0,054$ nepotvrdila statisticky signifikantní význam. Zbylé parametry vykazují známky velmi slabé až slabé korelace, čemuž odpovídají i vypočtené P-hodnoty.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{Ic0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{IcA} . Nebyla prokázána vzájemná korelace hodnot všech sledovaných parametrů získaných měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u skupiny seniorů.

Mezi jednotlivými skupinami můžeme vidět značnou nesourodost výsledků, kdy nejméně signifikantních korelací sledovaných parametrů bylo dosaženo u kontrolní skupiny a naopak nejvíce u skupiny seniorů. Celkově však ze statistické analýzy dat vyplývá, že z měření stability stoje pomocí headsetu VR

nedostaneme stejné výsledky u všech parametrů jako z měření pomocí stabilometrické plošiny.

5.2 Statistické testování hypotézy H₂

Dalším cílem statistické analýzy dat bylo zjistit, zda je měření stability stoje pomocí headsetu VR spolehlivé ve smyslu opakovatelnosti měření. Aby bylo statistické testování co nejpřesnější, byla reliabilita měření vypočítána u každé skupiny zvlášť, a proto byla hypotéza 2 rozdělena na tři dílčí pro každou ze skupin, jako to mu bylo u předchozí hypotézy. Vypočtené P-hodnoty a hodnoty testové statistiky (T) byly spočítány postupně pro každý sledovaný parametr a jejich výsledky jsou zaznamenány v tabulkách 10 – 12.

Hypotéza 2a:

H2a: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u kontrolní skupiny pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

H2aa: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u kontrolní skupiny pomocí headsetu VR není roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR není reliabilní.

Tabulka 10 shrnuje výsledky reliability měření u kontrolní skupiny, které jsou vyjádřeny pomocí hodnot testové statistiky a P-hodnot.

Tabulka 10 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí headsetu VR – hodnota testové statistiky (T) – kontrolní skupina (vlastní zdroj)

Kontrolní sk. - VR	T	P-hodnota
Délka křivky [mm]	148	0,966
Plocha elipsy [mm ²]	136	0,705
Poměr L/S [-]	134	0,669
Průměrná rychlost [mm/s]	99	0,152
Delta X [mm]	150	1,000
Delta Y [mm]	121	0,422
Sklon elipsy [°]	135	0,679

Protože hodnota testové statistiky je u všech sledovaných parametrů větší než kritická hodnota 81 (viz tabulka 3) a vypočtené P-hodnoty nabývají hodnot $p > 0,05$, není možno zamítnout nulovou hypotézu. Jinými slovy neexistuje signifikantní rozdíl mezi 1. a 2. měřením stability stoje pomocí headsetu VR u kontrolní skupiny.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{2a0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{2aA} . Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u kontrolní skupiny pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

Hypotéza 2b:

H_{2b0} : Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny probandů s bolestmi L_p pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

H_{2bA} : Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny probandů s bolestmi L_p pomocí headsetu VR není roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR není reliabilní.

Z tabulky 11 můžeme vyčíst výsledky reliability měření u skupiny probandů s bolestmi L_p , které jsou vyjádřeny pomocí testové statistiky a P-hodnot.

Tabulka 11 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí headsetu VR – hodnota testové statistiky (T) – skupina probandů s bolestmi Lp (vlastní zdroj)

Bolesti Lp - VR	T	P-hodnota
Délka křivky [mm]	101	0,101
Plocha elipsy [mm ²]	128	0,367
Poměr L/S [-]	156	0,874
Průměrná rychlost [mm/s]	107	0,139
Delta X [mm]	107	0,141
Delta Y [mm]	159	0,937
Sklon elipsy [°]	146	0,667

Protože hodnota testové statistiky je u všech sledovaných parametrů větší než kritická hodnota 89 (viz tabulka 3) a vypočtené P-hodnoty nabývají hodnot $p > 0,05$, není možno zamítnout nulovou hypotézu. Jinými slovy neexistuje signifikantní rozdíl mezi 1. a 2. měřeními stability stoje pomocí headsetu VR u skupiny probandů s bolestmi Lp.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{2b_0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{2b_A} . Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny probandů s bolestmi Lp pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

Hypotéza 2c:

H_{2c_0} : Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny seniorů pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

H_{2c_A} : Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny seniorů pomocí headsetu VR není roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR není reliabilní.

Z tabulky 12 můžeme vyčíst výsledky reliability měření u skupiny seniorů, které jsou vyjádřeny pomocí hodnot testové statistiky a P-hodnot.

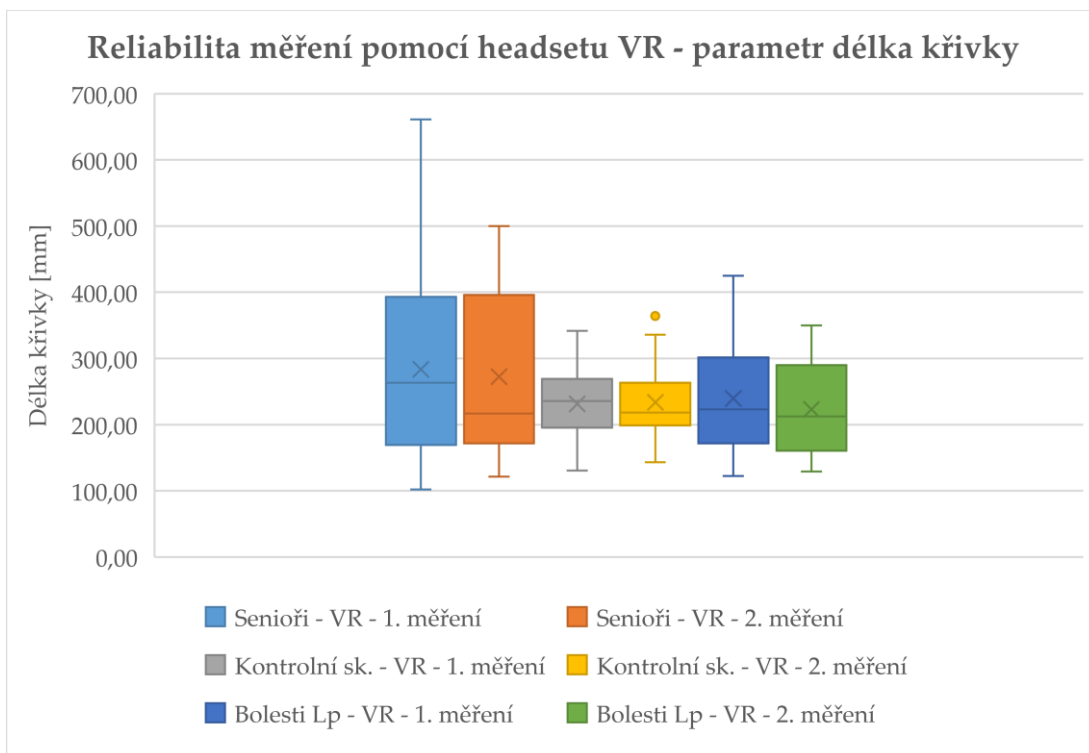
Tabulka 12 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí headsetu VR – hodnota testové statistiky (T) – skupina seniorů (vlastní zdroj)

Senioři - VR	T	P-hodnota
Délka křivky [mm]	111	0,427
Plocha elipsy [mm ²]	112	0,445
Poměr L/S [-]	112	0,441
Průměrná rychlost [mm/s]	99	0,247
Delta X [mm]	125	0,703
Delta Y [mm]	121	0,622
Sklon elipsy [°]	115	0,496

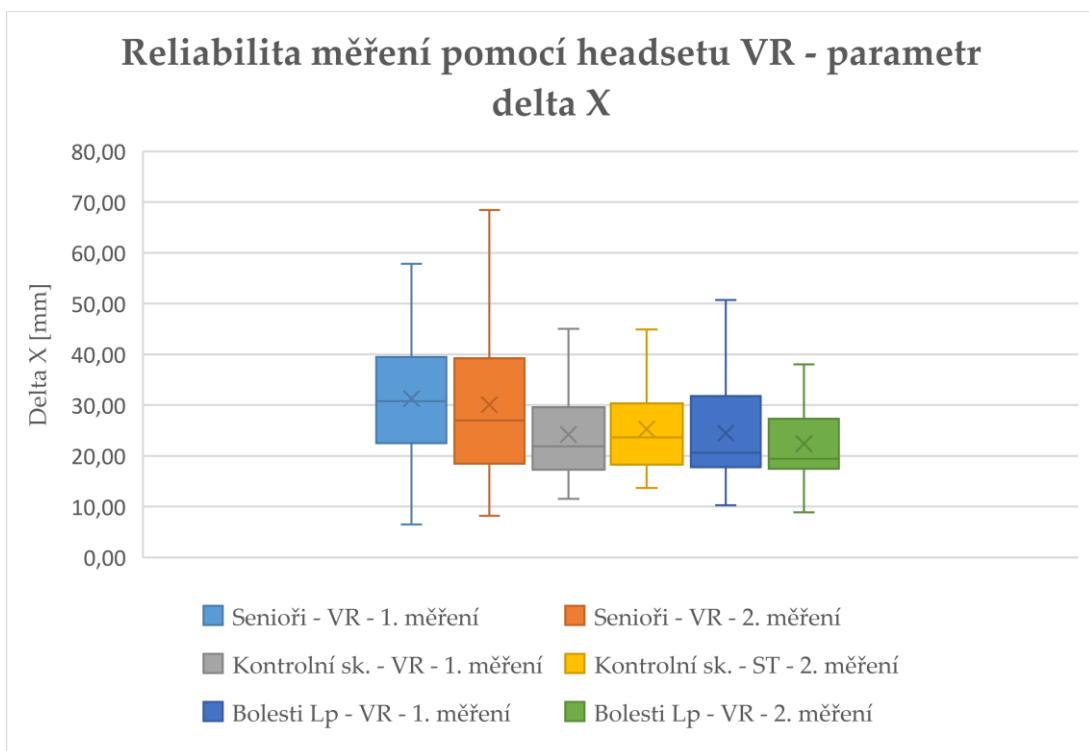
Protože hodnota testové statistiky je u všech sledovaných parametrů větší než kritická hodnota 73 (viz tabulka 3) a vypočtené P-hodnoty nabývají hodnot $p > 0,05$, není možno zamítnout nulovou hypotézu. Jinými slovy neexistuje signifikantní rozdíl mezi 1. a 2. měřeními stability stoje pomocí headsetu VR u skupiny seniorů.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{2c0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{2cA} . Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny seniorů pomocí headsetu VR je roven 0, a tedy měření pomocí headsetu VR je reliabilní.

Oproti první hypotéze zaměřující se na korelaci hodnot přinesla hypotéza zkoumající reliabilitu měření pomocí headsetu VR mnohem lepší výsledky. Wilcoxonův párový test určil, že rozdíly mezi páry naměřených dat nejsou v žádné ze tří skupin signifikantní, což značí, že měření pomocí headsetu VR dosáhne v 1. i 2. měření téměř shodných hodnot. Z naměřených dat byl pomocí krabicového grafu znázorněn výsledek pro dva ze sledovaných parametrů u všech tří skupin, a to parametr délka křivky a delta X.



Graf 1 - Reliabilita měření pomocí headsetu VR znázorněna na parametru délka křivky u všech tří skupin



Graf 2 - Reliabilita měření pomocí headsetu VR znázorněna na parametru delta X u všech tří skupin

Na grafu si můžeme všimnout horizontální linie uvnitř obdélníku, která znázorňuje medián hodnot a křížku uprostřed grafu, který představuje průměr naměřených hodnot. Kolmo nahoru a dolů vycházejí linie vyjadřující maximální a minimální naměřené hodnoty. Jednotlivý bod nad maximální hodnotou značí outlier, neboli hodnotu značně vyčnívající mezi ostatními.

Graf 1 a 2 značí, že naměřené hodnoty se u obou z parametrů mezi 1. a 2. měřením v jednotlivých skupinách výrazně neliší a mediány hodnot jsou téměř totožné, což potvrzují i výsledky předešlé statistické analýzy, která potvrdila reliabilitu měření pomocí headsetu VR. Mezi jednotlivými skupinami navzájem jsou však značné rozdíly. U skupiny seniorů je zaznamenán největší rozptyl mezi nejnižší a nevyšší naměřenou hodnotou a celkově naměřené hodnoty vykazují nejdelší trajektorie pohybů hlavy a největší výchylky hlavy v ML směru, což značí horší stabilitu stoje probandů z této skupiny. Naopak nejmenší rozptyl naměřených hodnot u obou z parametrů a průměrně nejkratší trajektorie pohybů hlavy jsou sledovány u kontrolní skupiny, která tím vykazuje známky nejlepší stability ze všech tří skupin.

5.3 Statistické testování hypotézy H₃

Posledním cílem statistické analýzy dat bylo zjistit, zda je měření stability stoje pomocí stabilometrické plošiny spolehlivé ve smyslu opakovatelnosti měření. Aby bylo statistické testování co nejpřesnější, byla reliabilita měření vypočítána u každé skupiny zvlášť, a proto byla hypotéza 3 rozdělena na tři dílčí pro každou ze skupin, jako to mu bylo u předchozích hypotéz. Vypočtené P-hodnoty a hodnoty testové statistiky (T) byly spočítány postupně pro každý sledovaný parametr a jejich výsledky jsou zaznamenány v tabulkách 13 – 15.

Hypotéza H3a:

H3a0: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u kontrolní skupiny pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

H3aA: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u kontrolní skupiny pomocí stabilometrické plošiny není roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny není reliabilní.

Tabulka 13 shrnuje výsledky reliability měření u kontrolní skupiny, které jsou vyjádřeny pomocí hodnot testové statistiky a P-hodnot.

Tabulka 13 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí stabilometrické plošiny (ST) – hodnota testové statistiky (T) – kontrolní skupina (vlastní zdroj)

Kontrolní sk. - ST	T	P-hodnota
Délka křivky [mm]	101	0,194
Plocha elipsy [mm ²]	123	0,473
Poměr L/S [-]	99	0,151
Průměrná rychlost [mm/s]	93	0,124
Delta X [mm]	112	0,286
Delta Y [mm]	113	0,299
Sklon elipsy [°]	144	0,872

Protože hodnota testové statistiky je u všech sledovaných parametrů větší než kritická hodnota 81 (viz tabulka 3) a vypočtené P-hodnoty nabývají hodnot $p > 0,05$, není možno zamítnout nulovou hypotézu. Jinými slovy neexistuje signifikantní rozdíl mezi 1. a 2. měřeními stability stoje pomocí stabilometrické plošiny u kontrolní skupiny.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H3a0, a tedy zamítáme alternativní hypotézu H3aA. Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u kontrolní skupiny

pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

Hypotéza H3b:

H3b: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny probandů s bolestmi Lp pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

H3ba: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny probandů s bolestmi Lp pomocí stabilometrické plošiny není roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny není reliabilní.

Tabulka 14 shrnuje výsledky reliability měření u skupiny probandů s bolestmi Lp, které jsou vyjádřeny pomocí hodnot testové statistiky a P-hodnot.

Tabulka 14 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí stabilometrické plošiny (ST) – hodnota testové statistiky (T) – skupina probandů s bolestmi Lp (vlastní zdroj)

Bolesti Lp - ST	T	P-hodnota
Délka křivky [mm]	153	0,812
Plocha elipsy [mm ²]	89	0,079
Poměr L/S [-]	97	0,088
Průměrná rychlost [mm/s]	147	0,677
Delta X [mm]	89	0,078
Delta Y [mm]	90	0,081
Sklon elipsy [°]	111	0,423

Protože hodnota testové statistiky je u všech sledovaných parametrů větší nebo rovna kritické hodnotě 89 (viz tabulka 3) a vypočtené P-hodnoty nabývají hodnot $p > 0,05$, není možno zamítnout nulovou hypotézu. Jinými slovy neexistuje signifikantní rozdíl mezi 1. a 2. měřením stability stoje pomocí stabilometrické plošiny u skupiny probandů s bolestmi Lp.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H3b₀, a tedy zamítáme alternativní hypotézu H3b_A. Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny probandů s bolestmi Lp pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

Hypotéza H3c:

H3c₀: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny seniorů pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

H3c_A: Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny seniorů pomocí stabilometrické plošiny není roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny není reliabilní.

V tabulce 15 jsou znázorněny výsledky reliability měření u skupiny seniorů, které jsou vyjádřeny pomocí hodnot testové statistiky a P-hodnot.

Tabulka 15 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí stabilometrické plošiny (ST) – hodnota testové statistiky (T) – skupina seniorů (vlastní zdroj)

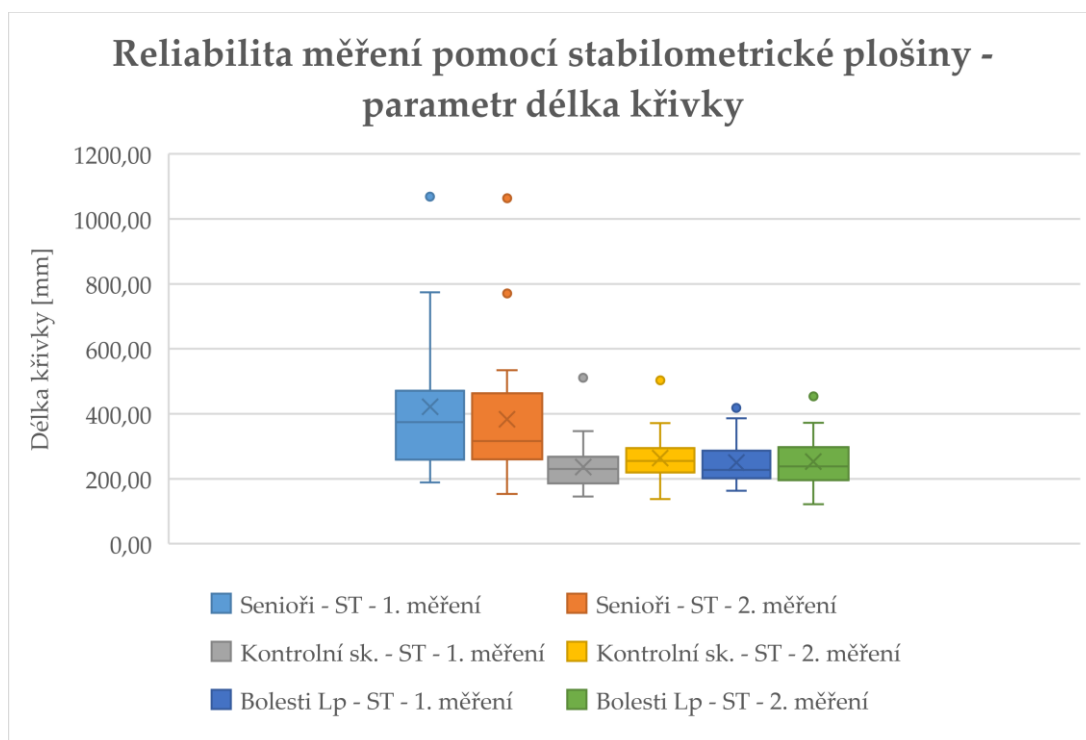
Senioři - ST	T	P-hodnota
Délka křivky [mm]	82	0,092
Plocha elipsy [mm ²]	88	0,185
Poměr L/S [-]	86	0,172
Průměrná rychlost [mm/s]	85	0,161
Delta X [mm]	92	0,213
Delta Y [mm]	95	0,233
Sklon elipsy [°]	104	0,468

Protože hodnota testové statistiky je u všech sledovaných parametrů větší než kritická hodnota 73 (viz tabulka 3) a vypočtené P-hodnoty nabývají hodnot $p > 0,05$, není možno zamítnout nulovou hypotézu. Jinými slovy neexistuje

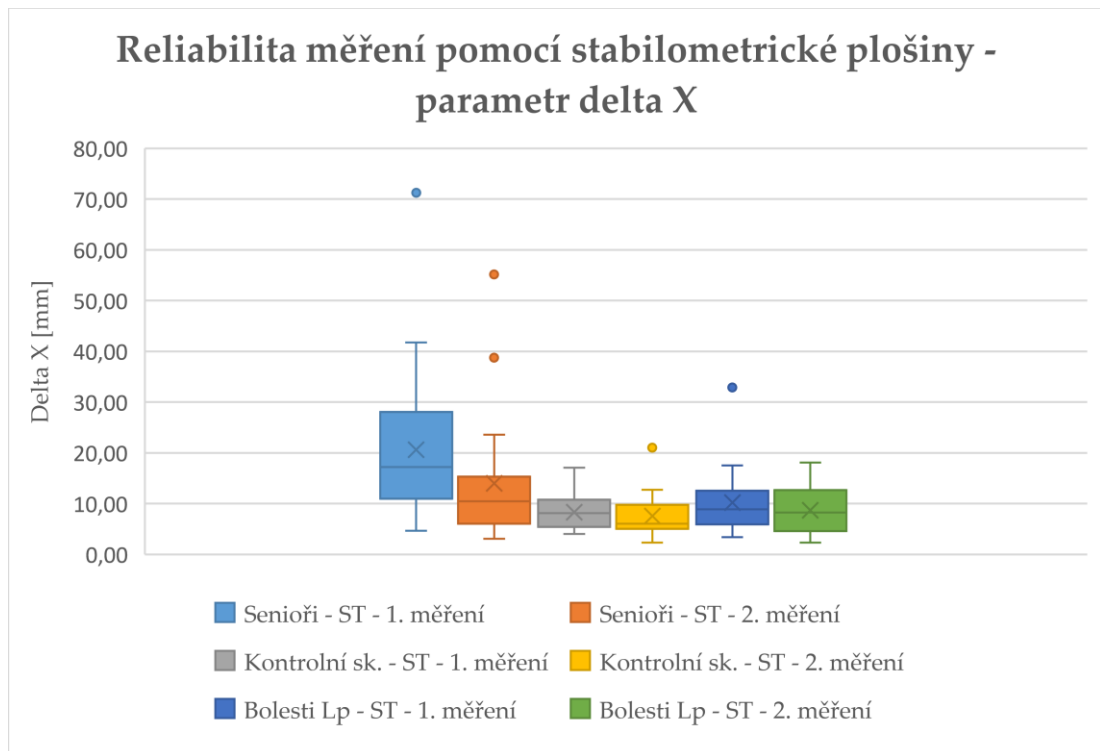
signifikantní rozdíl mezi 1. a 2. měřením stability stoje pomocí stabilometrické plošiny u skupiny seniorů.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přijímáme nulovou hypotézu H_{3c0} , a tedy zamítáme alternativní hypotézu H_{3cA} . Medián rozdílů hodnot všech sledovaných parametrů získaných v 1. a 2. měření u skupiny seniorů pomocí stabilometrické plošiny je roven 0, a tedy měření pomocí stabilometrické plošiny je reliabilní.

Výsledky statistické analýzy hypotézy 3 dokazují, že měření stability stoje pomocí stabilometrické plošiny je spolehlivé, a tedy že v 1. i 2. měření získáme téměř shodné hodnoty. To bylo potvrzeno na základě Wilcoxonova párového testu, který určil, že rozdíly mezi páry naměřených dat nejsou v žádné ze tří skupin signifikantní. Z naměřených dat byl pomocí krabicového grafu opět znázorněn výsledek parametru délka křivky a delta X u všech tří skupin.



Graf 3 - Reliabilita měření pomocí stabilometrické plošiny znázorněna na parametru délka křivky u všech tří skupin



Graf 4 - Reliabilita měření pomocí stabilometrické plošiny znázorněna na parametru delta X u všech tří skupin

Z grafu 3 a 4 je patrné, že u měření na stabilometrické plošině je pozorováno větší množství odlehklých hodnot, než tomu bylo u měření pomocí headsetu VR. U parametru délka křivky se naměřené hodnoty a mediány hodnot mezi 1. a 2. měřením v jednotlivých skupinách výrazně neliší. U parametru delta X jsou hodnoty mezi 1. a 2. měřením u kontrolní skupiny a skupiny probandů s bolestmi Lp také velice podobné, nikoli však u skupiny seniorů. Toto pozorování odpovídá i vypočteným hodnotám testové statistiky a P-hodnotám obou z parametrů, které byly u skupiny seniorů téměř na hraně statistické významnosti. U skupiny seniorů je opět zaznamenán největší rozptyl mezi nejnižší a nevyšší naměřenou hodnotou a celkově naměřené hodnoty vykazují nejdelší trajektorie COP a největší výchylky COP v ML směru, což se shoduje s výsledky měření pomocí headsetu VR. Nejlepší stabilitu opět vykazuje kontrolní skupina, jako tomu bylo i u měření pomocí headsetu VR.

Výsledky klinického testování stability stoje u probandů rozdělených do tří skupin poukazují na to, že korelace mezi naměřenými hodnotami pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny existuje, nicméně zdaleka ne u každé skupiny a každého sledovaného parametru. U kontrolní skupiny existovala korelace pouze u 1 sledovaného parametru, naopak u skupiny seniorů existovala korelace u 5 ze sledovaných 7 parametrů. Oba použité přístroje se dají považovat za spolehlivý způsob měření stability stoje ve smyslu opakovatelnosti měření.

Na základě výsledků lze konstatovat, že se headset VR nabízí jako levnější alternativní metoda pro měření stability stoje bez použití dalšího posturografického nástroje, přičemž největší klinický potenciál headsetu VR je u jedinců s horší posturální stabilitou, tedy především u seniorů.

6 DISKUZE

Hlavním cílem práce bylo na základě výsledků vyhodnotit možnost využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření. V klinické praxi se stabilita vyšetřuje standardně pomocí různých modifikací stoje a chůze, neboť je to rychlé a snadno proveditelné vyšetření. Jeho limitem je však subjektivita hodnocení, a proto je snaha více využívat moderní přístrojovou techniku, která nám pomocí senzitivnějšího měření umožňuje lépe objektivizovat a vyhodnocovat naměřená data. Nejvyužívanějším přístrojem k měření stability stoje je stabilometrická plošina, jejíž využití bylo mnohokrát ověřeno a podpořeno řadou výzkumů (Paillard et Noé, 2015; Kolář, 2020, s. 198-199). Přestože nám plošiny poskytují přesná měření, jejich náklady, požadavky na prostor a váha často omezují přístup k používání těchto zařízení pro výzkumné i klinické pracovníky (Lo et al, 2022). Proto bylo cílem práce vyhodnotit využití moderní přístrojové techniky, konkrétně headsetu VR, jako alternativní metody ke stabilometrickému měření.

V rámci první stanovené hypotézy byla ověřována korelace hodnot získaných pomocí headsetu VR typu Oculus Quast 2 a stabilometrické plošiny freeMED. Aby byly výsledky statistické analýzy co nejpřesnější, byla každá ze skupin hodnocena zvlášť, a proto byla první hypotéza rozdělena na tři dílčí. V prvním případě byla korelace ověřována u kontrolní skupiny. V kontrolní skupině, kterou tvořilo 24 zdravých jedinců, nebyla prokázána téměř žádná shoda sledovaných parametrů mezi těmito dvěma přístroji. Překvapivé je, že ve studii se stejným záměrem od Marchetto et al (2019) došli k odlišným výsledkům, a to k signifikantní korelaci u parametrů plocha elipsy, průměrná rychlost a výchylky v AP a ML směru. Do studie se zapojilo pouze 10 zdravých jedinců, kteří podstoupili stabilometrické měření s využitím headsetu typu Oculus Rift a plošiny Wii Balance Board. Polovina sledovaného souboru absolvovala měření ve stoji spojném a polovina ve stoji rozkročném. Probandi

byli testováni 6 různými testy, ve kterých se různě kombinovaly tyto podmínky: otevřené a zavřené oči, stoj na plošině s pěnovou podložkou a bez ní, stabilní a pohyblivá scéna VR. Studie od Sylcotta et al (2021) taktéž potvrdila významnou korelaci parametrů výchylky v ML i AP směru u 20 zdravých jedinců. Ti byli měřeni zároveň pomocí headsetu HTC Vive a stabilometrické plošiny NeuroCom. Odlišné výsledky uvedených studií od měření této práce mohou být způsobeny rozdílným typem použitých přístrojů nebo počtem provedených testů, kdy v této diplomové práci byl použit pouze 1 test stability stoje, kdežto ve studii Marchetto et al (2019) testů 6 a ve studii Sylcotta et al (2021) testy 2.

Následovalo hodnocení korelace u skupiny probandů s bolestmi Lp s propagací do dolní končetiny, kterou tvořilo 25 jedinců. U této skupiny vyšly statisticky významné korelace u 3 sledovaných parametrů (plocha elipsy, delta Y, průměrná rychlost), což značí obecně výraznější korelaci oproti kontrolní skupině. Jedním z důvodů může být podle mého názoru horší stabilita, a tím pádem větší klidové výchylky těžiště u skupiny s bolestmi Lp než u kontrolní skupiny, a je tedy možné, že headset VR přesněji zaznamenává právě větší výchylky. Kromě horší stability, která byla z naměřených hodnot patrná (náznaky jsou viditelné i na grafu 1, 2 a 4), byl u probandů s bolestmi Lp na grafickém znázornění tlakového zatížení chodidel na stabilometrické plošině freeMED pozorován posun těžiště posteriorním směrem a mimo jiné i asymetrické zatížení dolních končetin. Tento jev je dle studie Derewiecki et Majcher (2013) velice často patrný právě u lidí s diskopatickými bolestmi lumbosakrální oblasti. Dalším důvodem může být fakt, že u jedinců s bolestmi Lp pozorujeme oproti zdravým jedincům sníženou pohyblivost Lp (Breen et al, 2018), zvýšené svalové napětí, ke kterému může docházet na základě reflexního obranného mechanismu, a ve výsledku tedy větší stabilitu segmentu (Griffioena et al, 2020). Ačkoli byly zmíněné změny pozorovány v oblasti Lp, může se

snížená pohyblivost segmentů týkat celé páteře. Na základě těchto zjištění můžeme předpokládat, že hlava a nohy se budou pohybovat více jako jeden celek, tj. méně nezávisle, a výsledek korelace mezi měřením pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny bude výraznější.

Nejvýznamnějších výsledků ve smyslu pozitivní korelace bylo dosaženo u skupiny seniorů, která se skládala z 23 jedinců. Zde vyšly statisticky signifikantní korelace u 5 sledovaných parametrů ze 7 (délka křivky, plocha elipsy, poměr L/S, delta Y a sklon elipsy). Mé výsledky se shodují se studií Saldana et al (2017), ve které na základě měření 13 seniorů pomocí headsetu VR typu Oculus a stabilometrické plošiny potvrdili statisticky významnou korelaci ve výchylkách v ML a AL směru. Jelikož u seniorů byla pozorována nejhorší posturální stabilita ze všech tří skupin (což je patrné i z grafu 1 – 4) podporuje to domněnku, že headset VR zachycuje lépe větší výchylky. Navíc by zde mohl platit i princip, že na základě větší kloubní tuhosti, která se u starších jedinců vzhledem k přirozenému procesu stárnutí objevuje, se hlava a nohy budou pohybovat více jako jeden celek, a tak výsledek korelace mezi měřením pomocí headsetu a stabilometrické plošiny bude výraznější.

V rámci druhé a třetí stanové hypotézy byla ověřována reliabilita měření pomocí použitých přístrojů, což je důležitý ukazatel pro využití daných metod v praxi. Z výsledků všech tří skupin vyplývá, že měření pomocí headsetu VR i stabilometrické plošiny je spolehlivé ve smyslu opakovatelnosti měření. S tímto výsledkem se shoduje i studie Sylcotta et al (2021), ve které byla potvrzena reliabilita měření pomocí headsetu HTC Vive a stabilometrické plošiny NeuroCom u zdravých jedinců, a také studie Saldana et al (2017), která reliabilitu potvrdila u starších jedinců.

Dílčím cílem diplomové práce bylo zhodnotit výhody a limitace VR. Jedna z hlavních výhod VR, která je pozorována jak fyzioterapeuty, tak uživateli, je, že dělá terapii zábavnou. Díky interaktivní a poutavé virtuální scéně pacienti cvičí s radostí a je pro ně tak snadnější dodržovat pravidelné cvičení (Cortés-Pérez et al, 2020; Gustavsson et al, 2021, s. 6759-6765). S tím úzce souvisí motivace, která je často velkým problémem. Důležitou roli zde mají nejen samotní fyzioterapeuti, kteří by měli pacienty povzbudit a přimět k zodpovědnému přístupu k rehabilitaci, ale z velké části také herní forma VR. Zmíněná motivace a zábava pohání pacienty k lepším výkonům, které urychlují pozitivní výsledky terapie (Schmid et al, 2016, s. 1-12; Moan et al, 2021). To je doloženo na hezkém příkladu studie Chuang et al (2003), ve které prokázali výrazně delší čas strávený na rotopedu, větší ujetou vzdálenost i kalorický deficit jak u mladých lidí, tak u seniorů, pokud byla jízda na rotopedu spojena s využitím herní formy VR. Pohlčení virtuální scénou (tzv. imerze) a zábavná herní forma dokáže pacienty s bolestivými stavy rozptýlit a přesměrovat pozornost natolik, že po dobu terapie vnímají bolest méně intenzivněji, či dokonce vůbec. To má ve výsledku vliv např. na zvětšení rozsahu pohybu, který si pacienti nemusí v průběhu vůbec uvědomit. U některých pacientů může mít pozitivní vliv na zvětšení rozsahu pohybu i ztráta vizuální kontroly. Díky headsetu VR pacient nevidí velikost rozsahu pohybu, která obvykle vyvolává jeho bolest, a tak není rozsah ovlivňován předčasným strachem z bolesti. Efektu rozptýlení je dosahováno i v neimerzivní VR, nicméně s využitím headsetu a imerzivní VR je více zvýrazněn (Zeroth et al, 2019, s. 207-217). Během praktického měření probandů se nebylo možné s výše popsányi výhodami setkat, neboť se jednalo pouze o diagnostické vyšetření, nikoli terapii. Přesto bylo možno pozorovat, že měření pomocí headsetu VR probandy zaujalo a bylo pro ně zajímavější, nežli měření na stabilometrické plošině. Bylo hezké sledovat pozitivní reakce u mladších i starších probandů, kteří se s VR setkali úplně poprvé.

Biofeedback neboli biologická zpětná vazba, je rozhodně další značnou výhodou VR oproti klasickým konvenčním metodám, kterou je třeba zmínit. S využitím speciálních ovladačů nebo různých senzorů snímajících volní pohyby uživatele může pacient komunikovat se simulovaným prostředím a okamžitě vidět, jakých chyb se v terapii dopouští a co je třeba zlepšit (Choi et Paik, 2018; Navrátil et al, 2022, s. 107-115). Kromě toho, že je biofeedback významný motivační prvek pro pacienta, napomáhá nám fyzioterapeutům optimalizovat a individuálně nastavit cvičební jednotku a následně cvičební plán (Brochard, 2010, s. 683-687).

Dalším benefitem VR jsou široké možnosti modifikovat a tím zpestřit jednotlivé terapie. Jedná se především o nastavení obtížnosti úkolů, kdy pro určitý záměr terapie existuje mnoho druhů her (Brochard, 2010, s. 683-687). Potenciál VR je zřetelný i v tom, že se virtuální scény dají přizpůsobit svým prostředím a tematikou tak, aby byly bližší rozdílným věkovým kategoriím (Tieri et al, 2018, s. 107-117; Jahn et al, 2021). V terapii se dá využít různorodost virtuální scény jistě mnohem lépe, nežli při diagnostickém vyšetření, nicméně i zde má VR přidanou hodnotu. Měření stability na stabilometrické plošině se standardně provádí v uzavřených prostorách, kde pacienti hledí pouze na stěnu před sebou a snaží se splnit svůj úkol. V případě této práce bylo měření pomocí obou přístrojů prováděno taktéž ve vnitřních prostorách, přičemž druhé měření pomocí headsetu VR bylo pro probandy příjemnější, jelikož se ocitli v simulovaném přírodním prostředí, kde měli zrak upřený na strom.

Využití VR je obrovským přínosem na poli telerehabilitace, která je v dnešní době ve zdravotnictví velice diskutovaným tématem. Pojem telerehabilitace představuje poskytování rehabilitačních služeb skrze komunikační prostředky se speciálními léčebnými programy, které umožňují vzdálené trénování a spojení mezi fyzioterapeutem a pacientem (Navrátil et al, 2022, s. 146). Pro

tyto potřeby je VR důležitá hlavně z hlediska analyzování výsledků jednotlivých terapií a z hlediska sledování pokroků pacienta v nastaveném léčebném plánu. Terapie na dálku probíhají nejčastěji skrze neimerzivní VR pomocí mobilních zařízení malé velikosti jako je tablet, notebook nebo chytrý telefon, které jsou běžně využívány širokou populací (Choi et Paik, 2018). Je však důležité poznamenat, že tato forma rehabilitace nemusí být vhodná pro všechny osoby nebo stavy a má i své nedostatky. Největší potenciál telerehabilitace je u neurologických a chronických pacientů, neboť jejich zdravotní stav vyžaduje intenzivní, dlouhodobou a velmi nákladnou léčbu. I v těchto skupinách se často setkáváme se staršími jedinci a pacienty se sníženými kognitivními schopnostmi, u kterých se tento typ nedá využít z pochopitelných důvodů, a sice že nezvládají pracovat s moderními technologiemi (Meulenberg et al, 2022).

Velkou výhodou VR je také možnost procvičovat různé aktivity a úkoly, které by jinak pacient vzhledem ke zdravotnímu stavu nemohl provádět (Navarro et al, 2013). Díky VR je tak např. pro pacienta s omezenou schopností chůze či s vysokým rizikem pádu bezpečné překračovat překážky nebo se jim vyhýbat, neboť jsou pouze imaginární. To samé by mohlo být uvedeno na příkladu pacienta se sníženou funkcí jemné motoriky, který ve virtuální scéně může trénovat ADL jako je uklízení nádobí z myčky do skříňky bez rizika rozbití či poranění. Bezpečnost virtuální scény je tedy výhodou, kterou nelze zapřít, nicméně bezpečnost terapie nebo diagnostiky s pomocí VR záleží na její formě. U neimerzivní VR pacient neztrácí pojem o reálném prostředí kolem něj, tudíž není riziko úrazu zdaleka tak velké, jako při použití plně imerzivní VR. Ale i využití headsetu VR je zcela bezpečné v případě, že pacient leží nebo sedí. Když pacient stojí s headsetem VR, jako tomu bylo např. v této práci při vyšetření stability stoje, může pacient pociťovat nejistotu. Dánská studie Epure et al (2014) dokonce naznačuje, že samotný headset VR může mírně zhoršovat

posturální stabilitu oproti VR promítané na obrazovce, a to jak u mladých zdravých jedinců, kteří se stabilitou stoje nemají žádné obtíže, tak u starších jedinců s poruchami posturální stability. V průběhu měření této diplomové práce byla pozorována nejistota při měření pomocí headsetu VR převážně u probandů ze skupiny seniorů, kteří měli mírné obavy z pádu vzhledem ke ztrátě orientace v reálném prostředí, a dá se předpokládat, že v případě pohybu v prostoru by byla obava výrazně větší. Podle mého názoru není tento jev překážkou pro využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření v případě, že by platily určité zásady při jeho používání. Jako důležité bych viděla dostatečně velký a stabilní prostor, ve kterém by bylo měření prováděno, pečlivou instrukci před použitím a možnost uživatele si headset kdykoli sundat. Lima Rebêlo et al (2021) také udává jako stěžejní přítomnost terapeuta při využívání headsetu VR k diagnostice a terapii.

Na základě zmíněných výhod se VR jeví jako ideální nástroj k rehabilitaci, ale jako každá jiná metoda má i VR své nevýhody. Když si uvědomíme důležité stránky fyzioterapie jako je fyzický kontakt, klinické uvažování terapeuta a jeho sociální interakce s pacienty, je zřejmé, že ty VR nikdy zcela nahradit nedokáže. V některých případech je proto stále nejefektivnější péčí běžná forma terapie a diagnostiky, z čehož plyne, že VR je ideální využít jako metodu doplňkovou (Schmid et al, 2016, s. 1-12).

Po dlouhou dobu byla uváděna jako nevýhoda VR tzv. cyber sickness neboli kybernetická nemoc. Jedná se o nevolnost až závrať, která je způsobena „smyslovým nesouladem“. Tedy skutečností, že informace o poloze těla, kterou pacient vidí, jsou odlišné od informací získaných vestibulárním aparátem a dalšími smyslovými orgány. Nejčastěji to bylo pozorováno při působení plně imerzivního prostředí, ale vzhledem k tomu, že je technologie v dnešní době na velmi vysoké úrovni a vysoká snímková frekvence umožňuje velice plynulé

zobrazování obrazu, dá se cyber sickness považovat za mýtus (Kim et al, 2017; De Araújo et al, 2019; Park et al, 2019, s. 172-178; Bioulac et al, 2020, s. 326-335; Fandim et al, 2021; Choi et al, 2021, s. 480-487). Z tohoto důvodu byl během praktické části práce každý proband dotázán, jak se po měření pomocí headsetu VR cítí. Ani jeden z probandů neuváděl náznaky nevolnosti. Rosiak et al (2022) ve své studii uvedl, že negativní účinky rostou s dobou expozice VR, a je pravda, že v mém výzkumu strávili probandi ve VR velice krátkou dobu.

V závěru diskuze bude zdůrazněno, jaké měla moje diplomová práce limity, co by se dalo zlepšit a co by mohlo být předmětem zkoumání v budoucích pracích a studiích. Diplomové práce se zúčastnilo celkem 72 probandů rozdělených do tří skupin. Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků byla prováděna statistická analýza pro každou skupinu zvlášť, a tudíž byly cíle ověřeny na relativně malém vzorku. V následujících studiích by bylo vhodné otestovat více jednotlivců z téže skupiny, aby měly výsledky větší výpovědní hodnoty. Samotné měření stability stoje mělo taktéž své nedostatky, neboť neprobíhalo přímo v jeden čas na stabilometrické plošině a zároveň s headsetem VR, jako tomu bylo např. ve studii Marchetto et al (2019) nebo Sylcotta et al (2021), ve kterých taktéž hodnotili využití headsetu VR k měření posturální stability. V případě této diplomové práce byl proband vyšetřen nejprve na stabilometrické plošině a následně na zemi s využitím headsetu VR. Touto variantou mohly nastat nepřesnosti měření jednak proto, že data nebyla získána ze stejného časového úseku, a také proto, že povrch stabilometrické plošiny se zcela neshoduje s tvrdým povrchem země. Navíc byla posturální stabilita probandů měřena pouze jedním testem stability, a to Rombergem II, proto by bylo dobré v dalších studiích ověřit možnost využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému měření pomocí více testů stability, aby se docílilo co nejpřesnějších poznatků. Na druhou stranu při zachování obstojné

reliability obou metod by měření prováděna v jiný čas neměla být významně odlišná.

Ačkoli jsou stabilometrické plošiny po dlouhou dobu nejvyžívanější metodou v posturografii a zkušenosti s nimi jsou podpořeny řadou publikací, z mé diplomové práce vyplývá, že headset VR je slibnou alternativou, která by mohla pomoci k širší dostupnosti především u klinických pracovníků. Výsledky této práce naznačují, že z hlediska opakovatelnosti měření se headset VR jeví jako spolehlivý nástroj, nicméně je třeba provést další výzkumy a studie zaměřující se na využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému měření u různých skupin pacientů. Prozatím studie zkoumaly využití headsetu VR převážně u zdravých mladých jedinců a z mé práce vyplývá, že jeho největší klinický potenciál je u jedinců s horší posturální stabilitou, kde dochází k výraznějším výchylkám stoje, a tedy především u seniorů. Stabilometrické měření se samo o sobě využívá nejčastěji ke sledování dlouhodobého vývoje poruchy rovnováhy nebo pro sledování vlivu léčby na stabilitu jedince. Do budoucna by bylo přínosné prozkoumat využití stabilometrického měření k predikci rizika pádů, aby se předešlo závažným komplikacím a úrazům především u skupiny jedinců, kteří jsou pádem nejvíce ohroženi. V tomto směru by mohl být headset VR ideálním nástrojem k měření stability, protože nám nepřetržitě poskytuje data i během pohybu, např. při chůzi.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala možností využití headsetu VR jako nástroje ke stabilometrickému vyšetření. V teoretické části práce bylo popsáno využití VR ve fyzioterapii, konkrétně v oblasti neurorehabilitace a poruch stability. Z informací získaných z tuzemských i zahraničních publikací jasně vyplývá, že má VR ve fyzioterapii velké uplatnění a obrovský přínos. V rámci praktické části bylo provedeno vyšetření stability stoje pomocí headsetu VR a stabilometrické plošiny u probandů rozdělených do tří skupin, a to do skupiny kontrolní, probandů s bolestmi Lp a seniorů. Na základě výsledků statistické analýzy byla potvrzena korelace mezi naměřenými hodnotami pomocí použitých přístrojů s tím, že nejvíce signifikantních korelací bylo zaznamenáno u skupiny seniorů. Co se týče reliability měření, oba využívané přístroje vyšly jako spolehlivé ve smyslu opakovatelnosti měření.

Vzhledem k uvedeným přínosům a limitacím VR, jež byly rozebírány v diskuzi, a vzhledem k samotným výsledkům analýzy lze tvrdit, že je headset VR vhodným nástrojem k měření stability stoje. Díky jeho snadné přenosnosti, nízké hmotnosti a cenové dostupnosti může jeho využití v této oblasti přispět k výraznému pokroku, zjednodušení a potenciálně i využití na poli telerehabilitace.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADL	Activities of Daily Living
AP	anteroposteriorní
BRU	Balance Rehabilitation Unit
BS	Base of Support
CDP	Computerized Dynamic Posturography
CI	konfidenční interval
CMP	cévní mozková příhoda
CNS	centrální nervová soustava
COM	Center of Mass
COP	Center of Pressure
DMO	dětská mozková obrna
Lp	bederní páteř
mm	milimetr
ML	mediolaterální
n	velikost souboru
r	korelační koeficient
SOT	Sensory Organization Test
ST	stabilometrická plošina
tj.	to je
tzn.	to znamená
tzv.	tak zvaný
T	hodnota testové statistika
VR	virtuální realita
α	hladina statistické významnosti

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ABOU L, MALALA VD, YARNOT R, ALLURI A, RICE LA, 2020. Effects of Virtual Reality Therapy on Gait and Balance Among Individuals With Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair* [online]. 34(5), 375-388 [cit. 2022-07-24]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968320913515.
2. ALASHRAM AR, PADUA E, HAMMASH AK, LOMBARDO M, ANNINO G, 2020. Effectiveness of virtual reality on balance ability in individuals with incomplete spinal cord injury: A systematic review. *J Clin Neurosci* [online]. 72, 322-327 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0967-5868. Dostupné z: doi:10.1016/j.jocn.2020.01.037.
3. BIOULAC S, MICOULAUD-FRANCHI J-A, MAIRE J, et al, 2020. Virtual Remediation Versus Methylphenidate to Improve Distractibility in Children With ADHD: A Controlled Randomized Clinical Trial Study. *Journal of Attention Disorders* [online]. 24(2), 326-335 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: doi:10.1177/1087054718759751.
4. BREEN, Alexander, Fiona MELLOR a Alan BREEN, 2018. Aberrant intervertebral motion in patients with treatment-resistant nonspecific low back pain: a retrospective cohort study and control comparison. *European Spine Journal* [online]. 27(11), 2831-2839 [cit. 2023-04-20]. ISSN 0940-6719. Dostupné z: doi:10.1007/s00586-018-5666-1.
5. BROCHARD, Sylvain, Johanna ROBERTSON, Béatrice MÉDÉE a Olivier RÉMY-NÉRIS, 2010. What's new in new technologies for upper extremity rehabilitation?. *Current Opinion in Neurology* [online]. 23(6), 683-687 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1350-7540. Dostupné z: doi:10.1097/WCO.0b013e32833f61ce.
6. CIRIA, L. F., MUÑOZ, M. A., GEA, J., PEÑA, N., MIRANDA, J. G. V., MONTROYA, P., VILA, J., 2017. Head movement measurement: An alternative method for posturography studies. *Gait Posture* [online]. 52, 100-

- 106 [cit. 2023-02-05]. ISSN 0966-6362. Dostupné z: doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.11.020.
7. CORTÉS-PÉREZ I, NIETO-ESCAMEZ FA, OBRERO-GAITÁN E, 2020. Immersive Virtual Reality in Stroke Patients as a New Approach for Reducing Postural Disabilities and Falls Risk: A Case Series. *Brain Sciences* [online]. 10(5) [cit. 2022-07-12]. ISSN 2076-3425 Dostupné z: doi:10.3390/brainsci10050296.
 8. CRAIG, C. M., STAFFORD, J., EGOROVA, A., MCCABE, C., MATTHEWS, M., 2022. Can We Use the Oculus Quest VR Headset and Controllers to Reliably Assess Balance Stability? *Diagnostics* [online]. 12(6) [cit. 2023-02-05]. ISSN 2075-4418. Dostupné z: doi: 10.3390/diagnostics12061409.
 9. DE AMORIM, Juleimar Soares Coelho, Renata Cristine LEITE, Renata BRIZOLA a Cristhiane Yumi YONAMINE, 2018. Virtual reality therapy for rehabilitation of balance in the elderly: a systematic review and META-analysis. *Advances in Rheumatology* [online]. 58(1) [cit. 2023-04-18]. ISSN 2523-3106. Dostupné z: doi:10.1186/s42358-018-0013-0.
 10. DE ARAÚJO AVL, NEIVA JFO, MONTEIRO CBM, MAGALHÃES FH, 2019. Efficacy of Virtual Reality Rehabilitation after Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *BioMed research International* [online]. 2019, 1-15 [cit. 2022-07-4]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2019/7106951.
 11. DE GROOTE, F., VANDEVYVERE, S., VANHEVEL, F., ORBAN DE XIVRY, J. J., 2021. Validation of a smartphone embedded inertial measurement unit for measuring postural stability in older adults. *Gait Posture* [online]. 84, 17-23 [cit. 2023-02-05]. ISSN 0966-6362. Dostupné z: doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.11.017.
 12. DE LUCA, R., MAGGIO, M. G., MARESCA, G. et al, 2019. The Growing Use of Virtual Reality in Cognitive Rehabilitation: Fact, Fake or Vision? A Scoping 38 Review. *Journal of the National Medical Association* [online].

- 111(4), 457-463 [cit. 2022-07-12]. ISSN 1943-4693. Dostupné z: doi:10.1080/23279095.2017.1338571.
13. DE MIGUEL-RUBIO A, RUBIO MD, ALBA-RUEDA A, SALAZAR A, MORAL-MUNOZ JA, LUCENA-ANTON D, 2020a. Virtual Reality Systems for Upper Limb Motor Function Recovery in Patients With Spinal Cord Injury: Systematic Review and Meta-Analysis. JMIR Mhealth Uhealth [online]. 8(12) [cit. 2022-07-19]. ISSN 2291-5222. Dostupné z: doi:10.2196/22537.
 14. DE MIGUEL-RUBIO A, RUBIO MD, SALAZAR A, MORAL-MUNOZ JA, REQUENA F, CAMACHO R, LUCENA-ANTON D, 2020b. Is Virtual Reality Effective for Balance Recovery in Patients with Spinal Cord Injury? A Systematic Review and Meta-Analysis. Journal of Clinical Medicine [online]. 9(9) [cit. 2022-07-19]. ISSN 2077-0383. Dostupné z: doi:10.3390/jcm9092861.
 15. DE MIGUEL-RUBIO A, RUBIO MD, SALAZAR A, CAMACHO R, LUCENA-ANTON D, 2020c. Effectiveness of Virtual Reality on Functional Performance after Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Journal of Clinical Medicine [online]. 9(7) [cit. 2022-07-18]. ISSN 2077-0383. Dostupné z: doi:10.3390/jcm9072065.
 16. DEREWIECKI, Tomasz, Marta DUDA a Piotr MAJCHER, 2013. Impact of discopathic lumbosacral pain on body posture – pilot study. Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja [online]. 15(1), 1-10 [cit. 2023-04-20]. ISSN 1509-3492. Dostupné z: doi:10.5604/15093492.1032791.
 17. DONATH, Lars, Roland RÖSSLER a Oliver FAUDE, 2016. Effects of Virtual Reality Training (Exergaming) Compared to Alternative Exercise Training and Passive Control on Standing Balance and Functional Mobility in Healthy Community-Dwelling Seniors: A Meta-Analytical Review. Sports Medicine [online]. 46(9), 1293-1309 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.1007/s40279-016-0485-1.

18. EPURE, P., GHEORGHE, C., NISSEN, T., TOADER, L.O., NICOLAE, A., NIELSEN, S., CHRISTENSEN, D., BROOKS, A., AND PETERSSON, E. 2014. Effect of the oculus rift head mounted display on postural stability. Reading University Press, 2-4. s. 119–127. ISBN 978-0-7049-1546-6. Dostupné z: European Conference on Disability, (aau.dk).
19. FANDIM, Junior Vitorino, Bruno Tirotti SARAGIOTTO, Gustavo José Martiniano PORFÍRIO a Renato Figueiredo SANTANA, 2021. Effectiveness of virtual reality in children and young adults with cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trial. Brazilian Journal of Physical Therapy [online]. 25(4), 369-386 [cit. 2023-03-04]. ISSN 1413-3555. Dostupné z: doi:10.1016/j.bjpt.2020.11.003.
20. FARIA AL, ANDRADE A, SOARES L, I BADIA SB, 2016. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation [online]. 13(1) [cit. 2022-07-12]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi:10.1186/s12984-016-0204-z.
21. FENG, Hao, Cuiyun LI, Jiayu LIU, et al., 2019. Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. Medical Science Monitor [online]. 25, 4186-4192 [cit. 2023-04-22]. ISSN 1643-3750. Dostupné z: doi:10.12659/MSM.916455.
22. FERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, Diego, Roberto CANO-DE-LA-CUERDA a Víctor NAVARRO-LÓPEZ, 2022. Haptic Glove Systems in Combination with Semi-Immersive Virtual Reality for Upper Extremity Motor Rehabilitation after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health [online]. 19(16) [cit. 2023-03-03]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph191610378.
23. GAO, CH., LIU, J, WU, Y. et al., 2021. Systematic Evaluation of the Effect of Rehabilitation of Lower Limb Function in Children with Cerebral Palsy

- Based on Virtual Reality Technology. *Journal of Healthcare Engineering* [online]. 2021, 1-11 [cit. 2022-07-12]. ISSN 2040-2295. Dostupné z: doi:10.1155/2021/6625604.
24. GARCIA-GARCIA E, SANCHEZ-HERRERA BAEZA P, CUESTA-GOMEZ A, 2019. Effectiveness of the virtual reality in the rehabilitation of the upper limb in the spinal cord injury. A systematic review. *Rev Neurol* [online]. 69(4) [cit. 2022-07-23]. ISSN 0210-0010. Dostupné z: doi:10.33588/rn.6904.2019034.
25. GARCÍA-MUÑOZ, Cristina, María-Dolores CORTÉS-VEGA, Juan-Carlos HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Lourdes M FERNÁNDEZ-SEGUÍN, Isabel ESCOBIO-PRIETO a María Jesús CASUSO-HOLGADO, 2022. Immersive Virtual Reality and Vestibular Rehabilitation in Multiple Sclerosis: Case Report. *JMIR Serious Games* [online]. 10(1) [cit. 2023-03-08]. ISSN 2291-9279. Dostupné z: doi:10.2196/31020.
26. GHAI S, GHAI I, 2019. Virtual Reality Enhances Gait in Cerebral Palsy: A Training Dose-Response Meta-Analysis. *Front Neurol* [online]. 10(3), 245-258 [cit. 2022-07-12]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2019.00236.
27. GRIFFIOEN, M., P. VAN DRUNEN, E. MAASWINKEL, R. S. G. M. PEREZ, R. HAPPEE a J. H. VAN DIEËN, 2020. Identification of intrinsic and reflexive contributions to trunk stabilization in patients with low back pain: a case–control study. *European Spine Journal* [online]. 29(8), 1900-1908 [cit. 2023-04-20]. ISSN 0940-6719. Dostupné z: doi:10.1007/s00586-020-06385-9.
28. GUEYE, T, M DEDKOVA, V ROGALEWICZ, M GRUNEROVA-LIPPERTOVA, Y ANGEROVA, A NARO, R DE LUCA a R Salvatore CALABRÒ, 2021. Early post-stroke rehabilitation for upper limb motor function using virtual reality and exoskeleton: equally efficient in older patients. *Neurologia i Neurochirurgia Polska* [online]. 55(1), 91-96 [cit. 2022-07-012]. ISSN 1897-4260. Dostupné z: doi:10.5603/PJNNS.a2020.0096.

29. GUSTAVSSON, Martha, Emma K. KJÖRK, Mattias ERHARDSSON a Margit ALT MURPHY, 2022. Virtual reality gaming in rehabilitation after stroke – user experiences and perceptions. *Disability and Rehabilitation* [online]. 44(22), 6759-6765 [cit. 2023-04-21]. ISSN 0963-8288. Dostupné z: doi:10.1080/09638288.2021.1972351.
30. HARA Y, 2015. Brain Plasticity and Rehabilitation in Stroke Patients. *Journal of Nippon Medical School* [online]. 82(1), 4-13 [cit. 2022-07-12]. ISSN 1345-4676. Dostupné z: doi:10.1272/jnms.82.4.
31. CHEN Y., FANCHIANG, H. D., HOWARD, A., 2018. Effectiveness of Virtual Reality in Children With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy* [online]. 98(1), 63-77 [cit. 2022-07-12]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi:10.1093/ptj/pzx107.
32. CHOI, Yoon-Hee a Nam-Jong PAIK, 2018. Mobile Game-based Virtual Reality Program for Upper Extremity Stroke Rehabilitation. *Journal of Visualized Experiments* [online]. (133) [cit. 2022-07-12]. ISSN 1940-087X. Dostupné z: doi:10.3791/56241.
33. CHOI, Ja Young, Sook-Hee YI, Lijuan AO, et al., 2021. Virtual reality rehabilitation in children with brain injury. *Journal of Visualized Experiments* [online]. 63(4), 480-487 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0012-1622. Dostupné z: doi:10.1111/dmcn.14762.
34. IN T, LEE K, SONG C, 2016. Virtual Reality Reflection Therapy Improves Balance and Gait in Patients with Chronic Stroke: Randomized Controlled Trials. *Medical Science Monitor* [online]. 22(2), 4046-4053 [cit. 2022-07-12]. ISSN 1643-3750. Dostupné z: doi:10.12659/msm.898157.
35. IONUT-CRISTIAN, Severin a Dobrea DAN-MARIUS, 2021. Using Inertial Sensors to Determine Head Motion—A Review. In: *Journal of Imaging* [online]. [cit. 2023-04-18]. ISSN 2313-433X. Dostupné z: doi:10.3390/jimaging7120265

36. JAHN, Frida Simon, Marie SKOVBYE, Kia OBENHAUSEN, Andreas Elleby JESPERSEN a Kamilla Woznica MISKOWIAK, 2021. Cognitive training with fully immersive virtual reality in patients with neurological and psychiatric disorders: A systematic review of randomized controlled trials. *Psychiatry Research* [online]. 300 [cit. 2023-04-22]. ISSN 01651781. Dostupné z: doi:10.1016/j.psychres.2021.113928.
37. JHA KK, KARUNANITHI GB, SAHANA A, KARTHIKBABU S, 2021. Randomised trial of virtual reality gaming and physiotherapy on balance, gross motor performance and daily functions among children with bilateral spastic cerebral palsy. *Somatosens Mot Res* [online]. 38(2), 117-126 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0899-0220. Dostupné z: doi:10.1080/08990220.2021.1876016.
38. KAMIŃSKA, Magdalena Sylwia, Agnieszka MILLER, Iwona ROTTER, Aleksandra SZYLIŃSKA a Elżbieta GROCHANS, 2018. The effectiveness of virtual reality training in reducing the risk of falls among elderly people. *Clinical Interventions in Aging* [online]. 13, 2329-2338 [cit. 2023-04-18]. ISSN 1178-1998. Dostupné z: doi:10.2147/CIA.S183502.
39. KARAMIANS R, PROFFITT R, KLINE D, GAUTHIER LV, 2020. Effectiveness of Virtual Reality – and Gaming-Based Interventions for Upper Extremity Rehabilitation Poststroke: A Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* [online]. 101(5), 885-896 [cit. 2022-07-12]. ISSN 0003-9993. Dostupné z: doi:10.1016/j.apmr.2019.10.195.
40. KESHNER, E. A., MALLINSON, A. I., LONGRIDGE, N. S., SINNO, S., PETERSEN, H., PERRIN, P., 2023. Evolution of postural control assessment: From dynamic posturography to virtual reality. *Frontiers in Neurology* [online]. 13 [cit. 2023-02-05]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi: 10.3389/fneur.2022.1054346.
41. KIM, Aram, Nora DARAKJIAN a James M. FINLEY, 2017. Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *Journal of*

- NeuroEngineering and Rehabilitation [online]. 14(1) [cit. 2023-04-24]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi:10.1186/s12984-017-0225-2.
42. KOLÁŘ, Pavel. Rehabilitace v klinické praxi. Praha: Galén, 2020. ISBN 978-80-7292-500-9.
43. KOTAS, R., JANC, M., KAMIŃSKI, M., MARCINIAK, P., ZAMYSŁOWSKA-SZMYTKE, E., TYLMAN, W., 2019. Evaluation of Agreement Between Static Posturography Methods Employing Tensometers and Inertial Sensors. IEEE Access [online]. 7, 164120-164126. [cit. 2023-02-05]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi: 10.1109/ACCESS.2019.2952496.
44. LEE MJ, LEE SM, 2021. The Effect of Virtual Reality Exercise Program on Sitting Balance Ability of Spinal Cord Injury Patients. Healthcare (Basel) [online]. 9(2), [cit. 2022-07-24]. ISSN 2227-9032. Dostupné z: doi:10.3390/healthcare9020183.
45. LI, Guichen, Xin LI a Li CHEN, 2022. Effects of virtual reality-based interventions on the physical and mental health of older residents in long-term care facilities: A systematic review. International Journal of Nursing Studies [online]. 136 [cit. 2023-04-19]. ISSN 00207489. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijnurstu.2022.104378.
46. LIANG, H. W., CHI, S. Y., TAI, T. L., LI, Y. H., HWANG, Y.H., 2022. Impact of age on the postural stability measured by a virtual reality tracker-based posturography and a pressure platform system. BMC Geriatrics [online]. 22(1) [cit. 2023-02-08]. ISSN 1471-2318. Dostupné z: doi: 10.1186/s12877-022-03195-0.
47. LIMA REBÊLO, Felipe, Luiz Felliipe DE SOUZA SILVA, Flávia DONÁ, André SALES BARRETO a Jullyana DE SOUZA SIQUEIRA QUINTANS, 2021. Immersive virtual reality is effective in the rehabilitation of older adults with balance disorders: A randomized clinical trial. Experimental Gerontology [online]. 149 [cit. 2023-03-08]. ISSN 0531-5565. Dostupné z: doi:10.1016/j.exger.2021.111308.

48. LO, P. Y., SU, B. L., YOU, Y. L., YEN, C. W., WANG, S. T., GUO, L. Y., 2022. Measuring the Reliability of Postural Sway Measurements for a Static Standing Task: The Effect of Age. *Front Physiol* [online]. 13 [cit. 2023-02-08]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi: 10.3389/fphys.2022.850707.
49. MAGGIO MG, LATELLA D, MARESCA G, SCIARRONE F, MANULI A, NARO A, DE LUCA R, CALABRÒ RS, 2019. Virtual Reality and Cognitive Rehabilitation in People With Stroke: An Overview. *The Journal of Neuroscience Nursing* [online]. 51(2), 101-105 [cit. 2022-07-12]. ISSN 1945-2810. Dostupné z: doi:10.1097/JNN.0000000000000423.
50. MANZANARES A, CAMBLOR Á, ROMERO-ARENAS S, SEGADO F, GIL-ARIAS A, 2021. Effect of a semi-immersive virtual reality navigation therapy on quality of life in persons with spinal cord injury. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology* [online]. 34(5), 1-6 [cit. 2022-07-21]. ISSN 1748-3107. Dostupné z: doi:10.1080/17483107.2021.1913520.
51. MARCHETTO, J., WRIGHT, W. G., 2019. The Validity of an Oculus Rift to Assess Postural Changes During Balance Tasks. *Human Factors* [online]. 61(8), 1340-1352 [cit. 2023-02-05]. ISSN 1547-8181. Dostupné z: doi: 10.1177/0018720819835088.
52. MASSETTI T, DA SILVA TD, CROCETTA TB, GUARNIERI R, DE FREITAS BL, BIANCHI LOPES P, WATSON S, TONKS J, DE MELLO MONTEIRO CB, 2018. The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review. *Journal of central nervous system disease* [online]. 10. [cit. 2022-07-12]. ISSN 1179-5735. Dostupné z: doi:10.1177/1179573518813541.
53. MEULENBERG, Cécil J. W., Eling D. DE BRUIN a Uros MARUSIC, 2022. A Perspective on Implementation of Technology-Driven Exergames for Adults as Telerehabilitation Services. *Frontiers in Psychology* [online]. 13 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2022.840863.
54. MOAN, ME, EK VONSTAD, X SU, B VEREIJKEN, M SOLBJØR a N SKJÆRET-MARONI, 2021. Experiences of Stroke Survivors and Clinicians

- With a Fully Immersive Virtual Reality Treadmill Exergame for Stroke Rehabilitation: A Qualitative Pilot Study. *Frontiers in Aging Neuroscience* [online]. 13 [cit. 2023-03-04]. ISSN 1663-4365. Dostupné z: doi:10.3389/fnagi.2021.735251.
55. MOON, Sanghee, Chun-Kai HUANG, Maryam SADEGHI, Abiodun E. AKINWUNTAN a Hannes DEVOS, 2021. Proof-of-Concept of the Virtual Reality Comprehensive Balance Assessment and Training for Sensory Organization of Dynamic Postural Control. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* [online]. 9 [cit. 2023-03-05]. ISSN 2296-4185. Dostupné z: doi:10.3389/fbioe.2021.678006.
56. NAVARRO, María-Dolores, Roberto LLORÉNS, Enrique NOÉ, Joan FERRI a Mariano ALCANIZ, 2013. Validation of a low-cost virtual reality system for training street-crossing. A comparative study in healthy, neglected and non-neglected stroke individuals. *Neuropsychological Rehabilitation* [online]. 23(4), 597-618 [cit. 2023-04-24]. ISSN 0960-2011. Dostupné z: doi:10.1080/09602011.2013.806269.
57. NAVRÁTIL, Leoš a kol. *Robotická rehabilitace*. GRADA Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-0665-3.
58. NERI, Silvia GR, Jefferson R CARDOSO, Lorena CRUZ, et al., 2017. Do virtual reality games improve mobility skills and balance measurements in community-dwelling older adults? Systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation* [online]. 31(10), 1292-1304 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0269-2155. Dostupné z: doi:10.1177/0269215517694677.
59. OZKUL, Cagla, Arzu GUCLU-GUNDUZ, Gokhan YAZICI, Nevin ATALAY GUZEL a Ceyla IRKEC, 2020. Effect of immersive virtual reality on balance, mobility, and fatigue in patients with multiple sclerosis: A single-blinded randomized controlled trial. *European Journal of Integrative Medicine* [online]. 35 [cit. 2023-03-08]. ISSN 1876-3820. Dostupné z: doi:10.1016/j.eujim.2020.101092.

60. PAILLARD, T., NOÉ, F., 2015. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *Biomed Research International* [online]. 2015, 1-15 [cit. 2023-02-05]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi: 10.1155/2015/891390.
61. PANTELIADIS, CH. P., 2018. *Cerebral Palsy: A multidisciplinary Approach*. Thessaloniki: Springer International Publishing AG. ISBN 978-3-319-67857-3.
62. PARK E, B.-J. YUN, Y.-S. MIN, Y.-S. LEE, S.-J. MOON, J.-W. HUH, H. CHA, Y. CHANG, T.-D. JUNG, 2019. Effects of a mixed reality-based cognitive training system compared to a conventional computer-assisted cognitive training system on mild cognitive impairment: a pilot study. *Cogn. Behav. Neurol* [online]. 32(3), 172-178 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: doi:10.1097/WNN.0000000000000197.
63. PHU, Steven, Sara VOGRIN, Ahmed AL SAEDI a Gustavo DUQUE, 2019. Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls. In: *Clinical Interventions in Aging* [online]. s. 1567-1577 [cit. 2023-04-18]. ISSN 1178-1998. Dostupné z: doi:10.2147/CIA.S220890.
64. PUDERBAUGH, M., EMMADY, P. D., 2022. In: *Neuroplasticity* [online]. StatPearls [Internet]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557811/#!po=56.2500>.
65. RAJA, D., 2019. Virtual Reality - Opportunities and Challenges. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* [online]. 7(4), 1765-1774 [cit. 2023-03-03]. ISSN 2321-9653. Dostupné z: doi:10.22214/ijraset.2019.4321.
66. RAVI DK, KUMAR N, SINGHI P, 2017. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy* [online]. 103(3), 245-258 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0031-9406. Dostupné z: doi:10.1016/j.physio.2016.08.004.

67. RIENER, Robert a Matthias HARDERS. *Virtual Reality in Medicine*. London: Springer, London: Springer, 2012. ISBN ISBN 978-1-4471-4010-8.
68. ROSIAK, O., PUZIO, A., KAMINSKA, D., ZWOLINSKI, G., JOZEFOWICZ-KORCZYNSKA, M., 2022. Virtual Reality-A Supplement to Posturography or a Novel Balance Assessment Tool? *Sensors (Basel)* [online]. 22(20) [cit. 2023-02-05]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi: 10.3390/s22207904.
69. SAHIN, S., KÖSE, B., ARAN, O. T., et al, 2020. The Effects of Virtual Reality on Motor Functions and Daily Life Activities in Unilateral Spastic Cerebral Palsy: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *Games for health journal* [online]. 9(1), 45-52 [cit. 2022-07-12]. ISSN 2161-7856. Dostupné z: doi:10.1089/g4h.2019.0020.
70. SAK, Petr a Jiří MAREŠ, 2007. *Člověk a vzdělání v informační společnosti*. Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-230-0.
71. SALDANA, Santiago, Anthony P MARSH, W. Jack REJESKI, Jack HABERL, Peggy WU, Scott ROSENTHAL a Edward IP, 2017. Assessing balance through the use of a low-cost head-mounted display in older adults: a pilot study. *Clinical Interventions in Aging* [online]. 12, 1363-1370 [cit. 2023-04-26]. ISSN 1178-1998. Dostupné z: doi:10.2147/CIA.S141251.
72. SEIDL, Zdeněk. *Neurologie pro nelékařské zdravotnické obory*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 168 s. ISBN 978-80-247-6653-9.
73. SCHMID, Ludwig, Andrea GLÄSSEL a Corina SCHUSTER-AMFT, 2016. Therapists' Perspective on Virtual Reality Training in Patients after Stroke: A Qualitative Study Reporting Focus Group Results from Three Hospitals. *Stroke Research and Treatment* [online]. 2016, 1-12 [cit. 2023-04-21]. ISSN 2090-8105. Dostupné z: doi:10.1155/2016/6210508.
74. SKIDMORE ER, WHYTE EM, HOLM MB, BECKER JT, BUTTERS MA, DEW MA, et al, 2010. Cognitive and affective predictors of rehabilitation participation after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* [online]. 91(2), 203–207 [cit. 2022-07-12]. ISSN 0003-9993. Dostupné z: doi:10.1016/j.apmr.2009.10.026.

75. SOLTANI, Pooya a Renato ANDRADE, 2021. The Influence of Virtual Reality Head-Mounted Displays on Balance Outcomes and Training Paradigms: A Systematic Review. *Frontiers in Sports and Active Living* [online]. 2(23) [cit. 2022-07-12]. ISSN 2624-9367. Dostupné z: doi:10.3389/fspor.2020.531535.
76. SYLCOTT B, LIN CC, WILLIAMS K, HINDERAKER M., 2021. Investigating the Use of Virtual Reality Headsets for Postural Control Assessment: Instrument Validation Study. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies* [online]. 8(4). [cit. 2023-02-08]. ISSN 2369-2529. Dostupné z: doi: 10.2196/24950.
77. TIERI, Gaetano, Giovanni MORONE, Stefano PAOLUCCI a Marco IOSA, 2018. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Review of Medical Devices* [online]. 15(2), 107-117 [cit. 2023-04-22]. ISSN 1743-4440. Dostupné z: doi:10.1080/17434440.2018.1425613.
78. VALENZUELA, Trinidad, Yoshiro OKUBO, Ashley WOODBURY, Stephen R. LORD a Kim DELBAERE, 2018. Adherence to Technology-Based Exercise Programs in Older Adults: A Systematic Review. *Journal of Geriatric Physical Therapy* [online]. 41(1), 49-61 [cit. 2023-04-19]. ISSN 1539-8412. Dostupné z: doi:10.1519/JPT.0000000000000095.
79. VAN DER VEEN, S.M., THOMAS, J.S., 2021. A Pilot Study Quantifying Center of Mass Trajectory during Dynamic Balance Tasks Using an HTC Vive Tracker Fixed to the Pelvis. *Sensors (Basel)* [online]. 21(23) [cit. 2023-02-08]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi: 10.3390/s21238034.
80. VAŘEKA, Ivan, 2002. Posturální stabilita (I. část) terminologie a biomechanické principy. *Rehabilitace a fyzikální lékařství* [online]. 9(4), 115-121 [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/280087667 Posturalni stabilita Cast 1](https://www.researchgate.net/publication/280087667_Posturalni_stabilita_Cast_1).

81. VASILYEV, V. S., V. I. BORISOV a A. M. SYSKOV, 2019. Movement of head and center of mass: Joint assessment. AIP Conference Proceedings [online]. 2019, 020184- [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: doi:10.1063/1.5134335.
82. WITTSTEIN, Matthew William, Anthony CRIDER, Samantha MASTROCOLA a Mariana GUERENA GONZALEZ, 2020. Use of Virtual Reality to Assess Dynamic Posturography and Sensory Organization: Instrument Validation Study. JMIR Serious Games [online]. 8(4) [cit. 2023-03-05]. ISSN 2291-9279. Dostupné z: doi:10.2196/19580.
83. ZEROTH, Julia A., Lynnda M. DAHLQUIST a Emily C. FOXEN-CRAFT, 2019. The effects of auditory background noise and virtual reality technology on video game distraction analgesia. Scandinavian Journal of Pain [online]. 19(1), 207-217 [cit. 2023-04-24]. ISSN 1877-8879. Dostupné z: doi:10.1515/sjpain-2018-0123.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schéma fungování zpětnovazebného principu VR (Navrátil et al, 2022, s. 109).....	13
Obrázek 2 - Znázornění praktického měření stability stoje pomocí stabilometrické plošiny a headsetu VR – pohled zředu a z boku (vlastní zdroj).....	31
Obrázek 3 - Virtuální scéna z aplikace navržené firmou VR Medical (vlastní zdroj).....	32
Obrázek 4 - Grafické znázornění délky křivky a konfidenční elipsy (vlastní zdroj).....	33

11 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 1 - Reliabilita měření pomocí headsetu VR znázorněna na parametru délka křivky u všech tří skupin	45
Graf 2 - Reliabilita měření pomocí headsetu VR znázorněna na parametru delta X u všech tří skupin	45
Graf 3 - Reliabilita měření pomocí stabilometrické plošiny znázorněna na parametru délka křivky u všech tří skupin	50
Graf 4 - Reliabilita měření pomocí stabilometrické plošiny znázorněna na parametru delta X u všech tří skupin	51

12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Charakteristika jednotlivých skupin (vlastní zdroj)	29
Tabulka 2 - Hodnocení míry korelace dle hodnoty korelačního koeficientu (vlastní zdroj).....	34
Tabulka 3 - Tabulkové kritické hodnoty odpovídající velikosti souboru (n) na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ (vlastní zdroj).....	34
Tabulka 4 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u kontrolní skupiny včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 1. měření (vlastní zdroj).....	36
Tabulka 5 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u kontrolní skupiny včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 2. měření (vlastní zdroj).....	36
Tabulka 6 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny probandů s bolestmi Lp včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 1. měření (vlastní zdroj)	37
Tabulka 7 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny probandů s bolestmi Lp včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 2. měření (vlastní zdroj).....	38
Tabulka 8 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny seniorů včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 1. měření (vlastní zdroj).....	39
Tabulka 9 - Výsledné korelační koeficienty (r) všech parametrů u skupiny seniorů včetně P-hodnot a konfidenčních intervalů (95% CI) – 2. měření (vlastní zdroj).....	39
Tabulka 10 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí headsetu VR – hodnota testové statistiky (T) – kontrolní skupina (vlastní zdroj).....	42

Tabulka 11 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí headsetu VR – hodnota testové statistiky (T) – skupina probandů s bolestmi Lp (vlastní zdroj).....	43
Tabulka 12 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí headsetu VR – hodnota testové statistiky (T) – skupina seniorů (vlastní zdroj).....	44
Tabulka 13 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí stabilometrické plošiny (ST) – hodnota testové statistiky (T) – kontrolní skupina (vlastní zdroj)	47
Tabulka 14 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí stabilometrické plošiny (ST) – hodnota testové statistiky (T) – skupina probandů s bolestmi Lp (vlastní zdroj)	48
Tabulka 15 - Vyhodnocení reliability měření všech parametrů pomocí stabilometrické plošiny (ST) – hodnota testové statistiky (T) – skupina seniorů (vlastní zdroj)	49