

UNIVERZITA KARLOVA

3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitačního lékařství

Fakultní nemocnice Královské Vinohrady

Lubomír Rodina

**Virtuální realita v rámci rehabilitace pacientů
s roztroušenou sklerózou mozkomíšní**

*Virtual reality as a tool for rehabilitation of patients with multiple
sclerosis*

Bakalářská práce

Praha, srpen 2020

Autor práce: **Lubomír Rodina**

Studijní program: **Fyzioterapie**

Bakalářský studijní obor: **Specializace ve zdravotnictví**

Vedoucí práce: **doc. PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.**

Pracoviště vedoucího práce: **Klinika rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze**

Předpokládaný termín obhajoby: **září 2020**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval pod vedením vedoucího bakalářské práce samostatně a použil jsem výhradně uvedené citované prameny, literaturu a další odborné zdroje. Současně dávám svolení k tomu, aby má bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací. Potvrzuji, že tištěná i elektronická verze v Studijním informačním systému UK je totožná.

V Praze dne 18. srpna 2020

Lubomír Rodina.....

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní doc. PhDr. Kamile Řasové, Ph.D., vedoucí této bakalářské práce, za její odborné vedení, připomínky a cenné rady, které mi po celou dobu psaní mé práce věnovala. Dále děkuji Klinice rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze za zázemí a zapůjčení rehabilitačních pomůcek. Jmenovitě Mgr. Radmile Srbové, Bc. Petře Krůtové a Bc. Simoně Koutné – Ježilové za cenné připomínky a obohacující diskuse. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat kolegům ze Západočeské univerzity v Plzni pod vedením doc. Ing. Libora Váši, Ph.D. bez jejichž vývoje terapeutického softwaru by nebylo možné tuto studii realizovat.

Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině, která mi poskytla podmínky pro studium a po celou dobu mě podporovala. Své přítelkyni a přátelům – bez jejich podpory, pochopení, vstřícnosti a povzbuzování by tato práce nevznikla.

Abstrakt

Úvod

Virtuální realita je schopna simulovat podmínky, které by byly v běžné praxi jen obtížně napodobitelné a tím poskytuje komplexnější vjem (optické a sluchové stimuly), má pozitivní vliv na psychický stav a zároveň zvyšuje motivaci. Běžně dostupné hry ovšem nemají terapeutický efekt a neposkytují zpětnou vazbu o prováděném pohybu. Cílem této práce proto bylo vyvinout a optimalizovat speciálně navržený fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí, poskytující zpětnou vazbu za účelem zvýšení funkčnosti horní končetiny, zlepšení stability sedu a kvality vstávání u nemocných s roztroušenou sklerózou mozkomíšní.

Metoda

Prospektivní studie byla realizována Klinikou rehabilitačního lékařství FNKV v Praze a 3. LF UK za spolupráce Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Vývoj terapeutické aplikace probíhal od května 2019, samotné testování pak v období od října 2019 do srpna 2020. Nemocní s roztroušenou sklerózou mozkomíšní s poruchou funkce horních končetin byli vybráni na základě inzerce studie v MS centrech, Unii Roska a SMS ve dvou vlnách (první a druhá kohorta). První kohorta absolvovala 15 terapií v délce přibližně 45 minut na první verzi terapeutické aplikace, druhá kohorta pak 10 terapií ve stejné délce na rozšířené verzi. Terapie probíhala ve virtuálním prostředí zprostředkovaném platformou HTC Vive, pod vedením a kontrolou terapeuta. Samotná terapeutická jednotka pak byla složena z diagonál vycházejících z metody Proprioceptivní neuromuskulární facilitace (I. a II. diagonála flekční a extenční vzor a jejich modifikace), nácviku vstávání a sbírání fixně umístěných míčků, v posturálních pozicích aktivovaných pomocí metody Motorické programy aktivující terapie. Výsledný terapeutický efekt na funkčnost horní končetiny byl zhodnocen pomocí klinických testů (Hand Grip, Nine-Hole Peg Test, 9HPT, Box and Block Test, BBT, měření posturálního třesu pomocí akcelerometru), rychlosti vstávání (Five Times Sit to Stand Test, 5STS) a doplněn o dotazníky (MSIS-29, EQ-5D-5L-health questionnaire, Stupnice celkového hodnocení a dotazník týkající se virtuální reality).

Výsledky

Studie se zúčastnilo celkem 6 lidí z 22 oslovených, tři v první a tři v druhé kohortě. Průměrný věk účastníků studie byl 54 let, s průměrnou délkou onemocnění 14,7 roku a s průměrnou hodnotou 3,4 na Kurtzkeho škále (Expanded Disability Status Scale). Všichni dobrovolníci měli relaps-remitentní formu RS. U první kohorty došlo po absolvování terapeutického programu k navýšení počtu přemístěných kostek na levé ($p=0,009$) i pravé ($p=0,037$) končetině a k nárůstu rychlosti vstávání 5STS ($p=0,044$). U druhé kohorty došlo k zvýšení rychlosti v 9HPT ($p=0,046$). V průměru pak došlo u obou kohort k signifikantnímu zlepšení svalové síly na levé končetině ($p=0,037$), k navýšení počtu přemístěných kostek v BBT na pravé končetině ($p=0,022$) a zvýšení rychlosti vstávání 5STS ($p=0,011$). Na základě dotazníků můžeme potvrdit snížení dopadu RS dotazníkem MSIS-29 u obou kohort ($p=0,028$) a trend ke zlepšení u dotazníků EQ-5D-5L-health questionnaire a Stupnice celkového hodnocení.

Závěr

Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí, využívající platformy HTC Vive, má pozitivní efekt na funkčnost horní končetiny a rychlost vstávání, ovšem je potřeba ještě terapeutickou aplikaci optimalizovat na základě dotazníku zkušenosti s virtuální realitou, klinických zkušeností a následně jej ověřit na větším počtu probandů.

Klíčová slova: Virtuální realita, roztroušená skleróza mozkomíšní, metoda Motorické programy aktivující terapie, metoda Proprioceptivní neuromuskulární facilitace, vyšetření horní končetiny, klinické testy

Abstract

Introduction

Virtual reality is able to simulate conditions, which would be very hard to imitate in common practise and therefore it brings much more complex perception (optical and auditory incentives), it has positive influence on psychical state and at the same time increases motivation. Commonly available games do not have the therapeutical effect and do not provide any feedback about performed move. Because of the reasons mentioned before, the objective of this thesis was to develop and also optimize specially designed physiotherapeutic feedback-providing program in virtual environment for a purpose of increasing functionality of upper limb, improving sitting balance and quality of getting up of patients suffering from multiple sclerosis (MS).

Method

Prospective study has been realized by Clinic of rehabilitation medicine FNKV in Prague and Third Faculty of Medicine at Charles University in cooperation with Faculty of Applied Sciences at University of West Bohemia in Pilsen. Development of the rehabilitative application began in May 2019, the testing took place from October 2019 to August 2020. Patients suffering from multiple sclerosis with upper limb disorder have been chosen based on advertising of the study in MS centers, ROSKA Union and via SMS in two waves (first and second cohort). First cohort has completed 15 therapies, each lasting 45 minutes, while using the first version of the therapeutic application, second cohort has completed 10 therapies each also lasting 45 minutes, while using enhanced version of the application. The therapy took place in virtual environment mediated by HTC Vive, which has been directed and controlled by the therapist in real time. The therapeutic unit itself has been composed of diagonals based on the Proprioceptive neuromuscular facilitation method (I. And II. diagonal), getting up practice and collecting of fixed balls. Every proband was set in postural positions activated through Motor Programs Activating

Therapy method.

Resulting therapeutical effect on upper limb functionality was evaluated via clinical tests (Hand Grip, Nine-Hole Peg Test, 9HPT, Box nad Block, BBT, measuring of postural tremor using accelerometer), pace of getting up (Five times Sit to Stand Test, 5STS) and also via addition of questionnaires (MSIS-29, EQ-5D-5L-health Questionnaire, A 7-point Likert-type Global Rating of change Scale, GRS and questionnaire about virtual reality).

Results

Six of twenty two people, who have been addressed, have participated in the study, three in the first cohort and three in the second cohort. The average age of participants was 54 years, average duration of disease was 14,7 years and their average value on Expanded Disability Status Scale (EDSS) was 3,4. Every volunteer had relaps-reminent form of multiple sclerosis. Within the first cohort there was an increase in amount of relocated cubes on left ($p=0,009$) and also on right ($p=0,037$) upper limb and there was a growth in pace of getting up 5STS ($p=0,044$) as well. Within the second cohort there was an increase of speed in 9HPT ($p=0,046$). On average within the both cohorts, there was a significant improvement of muscle strenght on left upper limb ($p=0,037$), increase in amount of relocated cubes in BBT on right upper limb ($p=0,022$) and growth in pace of getting up 5STS ($p=0,011$). Based on questionnaires, we can confirm decrease of multiple sclerosis' impact based on MSIS-29 questionnaire within both cohorts ($p=0,028$) and trend of improvement based on EQ-5D-5L-Health questionnaire and A 7-point Likert-type Global Rating of change Scale.

Conclusion

Using HTC Vive platform, optimized physioterapeutic program in virtual reality has a positive effect on upper limb functionality and pace of getting up, but it is necessary to optimize therapeutical application basen on questionnaire about virtual reality experience, clinical experience and verify it on higher amount of probands afterwards.

Key words: virtual reality, multiple sclerosis, Motor Programs Activating Therapy, Proprioceptive neuromuscular facilitation, examination of the upper limb, clinical tests

Obsah:

1 Úvod.....	5
2 Teoretická část	6
2.1 Roztroušená skleróza mozkomíšní.....	6
2.1.1 Etiopatogeneze	6
2.1.2 Klinické příznaky	8
2.1.3 Klasifikace	11
2.1.4 Rehabilitace	12
2.2 Virtuální realita	13
2.2.1 Historie	13
2.2.2 Virtuální realita v rehabilitaci.....	14
2.2.3 Virtuální realita v rehabilitaci RS.....	15
3 Experimentální část.....	18
3.1 Design studie.....	18
3.1.1 Cíle a hypotéza	18
3.2 Tvorba a optimalizace fyzioterapeutického programu ve virtuálním prostředí	19
3.2.1 Návrh terapeutické aplikace	19
3.2.2 Preklinická fáze	25
3.2.3 Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí pro 1.	
kohortu.....	27
3.2.4 Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí pro 2.	
kohortu.....	28
3.2.5 Uživatelské rozhraní	29
3.3 Metodika	34
3.3.1 Výběr probandů	34
3.3.2 Průběh vyšetření	35
3.3.3 Metody vyšetření	36
3.3.3.1 Anamnéza.....	36
3.3.3.2 Klinická vyšetření	36
3.3.3.3 Dotazníky	38
3.3.4 Terapie.....	39
3.3.4.1 Terapeutická sestava 1. kohorty.....	39

3.3.4.2 Terapeutická sestava 2. kohorty.....	40
3.3.5 Zpracování a statistické vyhodnocení dat.....	42
3.4 Výsledky	43
3.4.1 Charakteristika probandů s roztroušenou sklerózou.....	45
3.4.2 Anamnestické údaje, charakteristika onemocnění a subjektivní pocit zdraví.....	46
3.4.3 Klinická vyšetření horní končetiny	48
3.4.4 Klinické vyšetření rychlosti vstávání	57
3.4.5 Dotazníky	58
3.5 Diskuse.....	65
3.6 Závěr	71
4 Seznam literatury	72
5 Seznam tabulek.....	78
6 Seznam grafů	79
7 Seznam obrázků.....	80
8 Přílohy.....	81

Seznam použitých zkratk a symbolů:

VR.....	virtuální realita
RS.....	roztoušená skleróza mozkomíšni
ČR.....	Česká republika
CNS.....	centrální nervová soustava
FNKV.....	Fakultní nemocnice Královské Vinohrady
UK.....	Univerzita Karlova
3. LF UK.....	3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy
ZČU v Plzni.....	Západočeská univerzita v Plzni
PNF.....	Proprioceptivní neuromuskulární facilitace
MPAT.....	Motorické programy aktivující terapie
NK buňky.....	natural killer cells, přirození zabíječi
PRR receptory.....	Pattern recognition receptors
PAMP.....	pathogen-associated molecular patterns
TCR.....	T-cell receptor
BCR.....	B-cell receptor
MHS II. třídy.....	major histocompatibility complex II. třídy
Th1 lymfocyty.....	subpopulace T1-pomocné lymfocyty
TNF.....	tumor necrosis factor
HLA D2, DR4, DQ.....	Human Leukocyte Antigens D2, DR4, DQ
IL1, 2.....	Interleukin 1, 2
MBP.....	myelinový alkalický protein
PLP.....	proteolipid-protein
MAG.....	myelinu asociovaný glykoprotein
MOG.....	myelinový oligodendrocytární protein
IgG.....	Imunoglobulin G
OLED.....	Organic light-emitting diode
LCD.....	Liquid Crystal Display
VPL Research.....	Virtual Programming Languages Research
HTC.....	High Tech Computer Corporation
KAT Walk.....	pohybová platforma pro virtuální realitu
VRGO Chair.....	speciální židle pro virtuální realitu
EDSS.....	Expanded Disability Status Scale
BBS.....	Berg Balance Scale
Zebris FDM-T.....	běžecský pás
SMS.....	občanské Sdružení mladých sklerotiků
ROSKA.....	česká multiple sclerosis společnost
COVID-19.....	koronavirus SARS-CoV-2

MSIS-29.....	Multiple Sclerosis Impact Scale
g.....	gramy
SD karta.....	paměťová karta typu Secure Digital
MS-excel.....	tabulkový kalkulátor Microsoft Excel
t-test.....	Studentův t-test
3D.....	trojrozměrný
Hz.....	hertz
f_{\max}	frekvence největšího třesu
PSD.....	Power Spectral Density
PSD _{max}	míra třesu
VAS.....	Visual analog scale
5STS.....	Five times Sit to Stand test
9HPT.....	Nine-Hole Peg Test
BBT.....	Box and Block Test
HK.....	horní končetina
SD.....	směrodatná odchylka
kg.....	kilogram
cm.....	centimetr
m.....	metr
PHK.....	pravá horní končetina
LHK.....	levá horní končetina
dB/Hz.....	decibel/hertz
\bar{x}	aritmetický průměr
DAMP.....	damage/danger-associated molecular patterns
ISVR.....	International Society for Virtual Rehabilitation
KINECT RemoviEM.....	system snímající pohybu od firmy Microsoft
CAREN.....	Computer Assisted Rehabilitation Environment
EQ-5D-5L.....	European questionnaire of 5 dimensions and 5 levels
MatLab.....	matrix laboratory, program pro výpočet a analýzu dat
GRS.....	A 7-point Likert-type Global Rating of change Scale

1 Úvod

S rozvojem technologií se stále častěji můžeme setkávat s trendem zapojit do fyzioterapie více sofistikovaných přístrojů, které by usnadnily práci fyzioterapeuta a zároveň nabídly pacientovi nové možnosti rehabilitace. V současné době zažívá velký rozmach virtuální realita (VR), ať už v herním průmyslu, kinematografii, virtuálním turismu tak i v medicíně. Snižující se cena, vyšší citlivost senzorů pro pohyb a zvýšená výpočetní kapacita počítačů zvyšuje dostupnost pro běžnou populaci a dává pacientům možnost využívat VR nejen ambulantně, ale i v domácím prostředí.

Tato práce je výsledkem snahy spojit multidisciplinární tým za cílem vývoje dostupného terapeutického softwaru pro pacienty s roztroušenou sklerózou mozkomíšní. Za spolupráce Fakulty aplikovaných věd ZČU v Plzni proběhl výběr vhodného hardwaru a softwaru^[1], došlo ke sběru a vyhodnocení dat^[2] a vytvoření virtuálního prostředí, cvičení a animací 3D paže^[3].

Naším cílem bylo vytvořit vhodnou aplikaci, jenž by umožnila efektivní rehabilitaci horních končetin se zapojením trupového svalstva a poskytla pacientům zajímavou alternativu k obvyklé rehabilitaci a zároveň umožnila zpětnou kontrolu prováděných cviků. Možnost nasimulovat pacientovi cvičení na míru, dává VR velký potenciál pro úspěšnou léčbu. Zpětná vazba virtuální reality zároveň snižuje nároky na terapeuta a v budoucnu by mohla umožnit domácí rehabilitaci. Ve všech prováděných cvicích jsme vyšli z metod Proprioeptivní neuromuskulární facilitace (PNF) a Motorické programy aktivující terapie (MPAT).

Součástí této práce je teoretická část, která se věnuje problematice roztroušené sklerózy mozkomíšní a aktuálnímu využití virtuální reality v rehabilitaci daného onemocnění. V praktické části jsou představeny možnosti námi vyvinuté terapeutické aplikace využívající virtuálního prostředí, popsán vývoj a terapeutická jednotka a ověřen její účinek za pomoci standardizovaných testů a dotazníků.

2 Teoretická část

2.1 Roztroušená skleróza mozkomíšní

Roztroušená skleróza mozkomíšní (sclerosis cerebrospondinalis multiplex) patří v rozvinutých zemích mezi nejčastější neurologická onemocnění s poměrně vysokou prevalencí 160/100 000 (ČR).^[4] Postižení jsou nejčastěji mladší věkové skupiny obvykle v rozmezí 20-40 let, ženy přibližně 2-3x častěji než muži, ale výjimku netvoří ani děti, nebo starší ročníky.^[5] Jedná se o demyelinizační a degenerativní onemocnění postihující centrální nervovou soustavu. Projevuje se autoimunitní reakcí zapříčiňující ztrátu myelinových pochev v bílé hmotě centrální nervové soustavy (mozek, mozeček, kmen, mícha a optické nervy). Ložiska zánětu se nazývají plaky nebo léze a pohybují se velikostně v řádů milimetrů až centimetrů.^[6] Klinické projevy následně odpovídají lokalizaci a rozsahu dané léze. Z důvodu postižení různých okrsků centrální nervové soustavy trpí pacienti různými klinickými symptomy přes poruchy motoriky (slabost, tremor, spasmus), poruchy chování, nálad, únavu, bolest, postižení zraku až po rozvoj invalidity. RS je často stigmatizující onemocnění s širokým socioekonomickým dopadem.^[6] Primární příčina onemocnění není známá, předpokládá se ovšem multifaktoriální vliv genetických a enviromentálních aspektů.^[6]

2.1.1 Etiopatogeneze

Roztroušená skleróza patří mezi chronické choroby autoimunitní povahy.^[7] Imunitní systém je nepostradatelný pro organismus z hlediska integrity a ochrany před vnějšími a vnitřními patogeny. Z hlediska vývoje jej můžeme rozdělit na dva podsystemy a to na imunitu vrozenou (nespecifickou) a adaptivní (specifickou).^[8] Vrozená imunita využívá neutrofilů, makrofágy a NK buňky k detekci patogenů PRR receptory (pattern recognition receptors), které cílí na široké spektrum molekul PAMP (pathogen-associated molecular patterns) a na poškozené vlastní buňky DAMP (damage/danger-associated molecular patterns).^[4]

Následnou imunitní odpověď regulují dendritické buňky, které dané PAMP a DAMP vzory identifikují a následně eliminují.^[4] Některé PAMP a DAMP vzory dendritické buňky následně zpracují na antigenní peptidy, které začlení do povrchových molekul na své cytoplazmatické membráně. Tyto peptidy následně slouží k aktivaci adaptivního imunitního systému.^[4] Adaptivní neboli specifická imunita obsahuje T a B-lymfocyty, které se liší receptory pro antigen TCR a BCR. B-lymfocyty se mohou přeměnit na plazmatické buňky.^[8] V tomto systému probíhá regulace, aby došlo k odstranění autoreaktivních T-klonů, zároveň dochází k zachování imunologické paměti.^[5]

Patogeneze RS je relativně dobře prozkoumána. V periferních lymfatických uzlinách dojde k aktivaci autoreaktivních T-lymfocytů poté, co jsou jejich TCR receptory vystaveny antigenu bílé hmoty za pomoci molekul MHS II. třídy.^[5] Mezi možné antigeny řadíme myelinový alkalický protein (MBP), proteolipid-protein (PLP), myelinu asociovaný glykoprotein (MAG) a myelinový oligodendrocytární protein (MOG).^[9] Zůstává však otázkou, jak se ocitnou proteiny bílé hmoty v periferních lymfatických uzlinách. Předpokládá se, že spouštěcí reakci způsobují jiné nespecifické antigeny, podobné antigenům bílé hmoty. Pravděpodobně se jedná o viry typu paramyxovirů (morbilli virus, viry influenzy, parainfluenzy a další).^[9] Podle nejnovějších výzkumů by se na patogenezi mohl podílet Epstein-Barrové virus.^[4] Aktivované T-lymfocyty produkují interleukiny (převážně Il-1 a Il-2) a adhezivní molekuly, díky kterým jsou schopné proniknout hematoencefalitickou bariérou.^[9] Pronikání přes hematoencefalickou bariéru je umocněno produkcí interferonů γ , které aktivují glie a makrofágy. Subpopulace Th1 lymfocytů vytváří kromě zmíněného interferonu γ , tumor nekrotizující faktor (TNF) a protilátky proti antigenům bílé hmoty.^[9] Cílem autoreaktivních T-lymfocytů a makrofágů jsou myelinové obaly, jenž tvoří v centrální nervové soustavě oligodendrocyty.^[4] Myelin obsahuje převážně myelinový bazický protein, který je považován za hlavní autoantigen v patogenezi RS.^[5] Myelinové pochvy jednak nervová vlákna chrání, vyživují a izolují a zároveň umožňují rychlejší vedení nervových vzruchů (akčních potenciálů) díky přeskokování impulsů mezi Ranvierovými zářezy.

V zánětlivých ložiscích jsou také přítomny autoreaktivní B-lymfocyty, které je možné nalézt i v mozkomíšním moku.^[5] B-lymfocyty a plazmatické buňky produkují protilátky třídy IgG a cytokiny.^[5]

Destrukce myelinu způsobuje poruchy ve vedení akčních potenciálů axonem. Vlivem zánětlivých markerů může dojít k porušení poměru mezi sodíkovými a draslíkovými kanály a tím k depolarizaci axonu nebo zániku neuronu.^[9]

Regenerační odpovědí na proběhlou zánětlivou reakci je remyelinizace zprostředkovaná oligodendroglie bez ztráty funkce, případně tvorba astrocytární jizvy s postižením nebo ztrátou funkce.^[9]

Mezi rizikové faktory roztroušené sklerózy patří genetické a epigenetické (enviromentální) vlivy.^[5] Příslušnost k indoevropské rase a nosiči alel HLA D2, DR4 a DQ mají zvýšenou predispozici k propuknutí roztroušené sklerózy.^[9] Vliv pohlaví je také nezanedbatelný, ženy jsou 2–3x častěji zasaženy touto chorobou než muži.^[4]

Mezi enviromentální rizikové faktory patří nedostatek vitamínu D.^[5] Toto tvrzení podporuje fakt, že největší výskyt nemoci je kolem 50° severní šířky a 40° jižní šířky.^[9] Mezi další prokazatelné faktory patří některé virové infekce (virus Epstein-Barr), narušení střevní mikroflóry, zvýšená stresová zátěž a kouření.^[4] Klinické studie nepotvrdily vliv očkování na propuknutí této nemoci.^[5]

2.1.2 Klinické příznaky

Široká symptomatika daného onemocnění odpovídá variabilnímu postižení jednotlivých nervových drah, ať už počtem anebo velikostí jednotlivých lézí. Umístění a velikost dané léze je rozhodující pro rozsah klinických projevů.

U pacientů se objevují typicky ataky a remise neurologických obtíží. Atakou se rozumí období, v němž se objevují nové klinické symptomy anebo se stávající obtíže zhoršují. Po atace následuje období, kdy dochází k ústupu obtíží anebo jejich úplnému vymizení, nazvané remise. Ataky lze v zásadě rozdělit na polysymptomatické, je zasaženo více nervových drah, nejčastěji v úrovni kmene. Nebo monosymptomatické ataky, kdy dochází k postižení jedné nervové dráhy, nejčastěji pyramidové a zrakové dráhy.^[4]

Mezi první příznaky patří senzitivní poruchy (parestezie, dysestezie), poruchy zraku (retrobulbární neuritida) a motorické poruchy (slabost končetin).^[4] Ne vždy ale onemocnění propuká náhle a může mu předcházet období vleklých obtíží, zvýšené únavy a ztráty energie.^[5]

Senzitivní poruchy rozdělujeme na poruchy kožní citlivosti (tractus spino-thalamicus) a poruchy hluboké citlivosti (tractus spino-bulbo-thalamo-corticalis).^[9] Mezi negativní symptomy řadíme sníženou taktilní citlivost hypestézii až anestezii. Naopak mezi zvýšené neboli pozitivní příznaky zařazujeme dysestezii, parestezii a hyperstezii.^[4] Mezi senzitivní obtíže můžeme zahrnout i bolest. Projevující se v epizodách nebo s chronickým charakterem.^[4] Časté jsou bolesti končetin, hlavy, bolesti radikálního charakteru anebo pocit sevření hrudníku a trupu.

Porucha zraku bývá často prvním příznakem daného onemocnění a vyskytuje se až u 30 % pacientů.^[4] Vzniká jednostranná retrobulbární neuritida, kterou postižený popisuje jako náhlý výpadek v zorném poli, případně zešednutí zorného pole doprovázené neostrým viděním.^[9] Postižení se rozvíjí v řádu několika hodin až dní a je doprovázeno bolestí při pohybu očního bulbu.^[4] Ve většině případů dochází ke spontánnímu návratu zraku v několika týdnech. Ovšem můžou přetrvávat obtíže v podobě ztráty zraku ve středu zorného pole, případně celého perimetru.^[9] Část pacientů může trpět reverzibilní dysfunkcí optického nervu po fyzické aktivitě nebo po prodělané horečce, nazvané Uhthoffův fenomén. Porucha zraku se spontánně upravuje po odeznění námahy nebo zmírnění horečky.^[4]

Mezi nejvýznamnější klinické symptomy řadíme postižení **pyramidové dráhy**, které se projevují poruchou motoriky. U pacientů nacházíme zvýšené reflexy šlachové a okosticové a pozitivní pyramidové iritační jevy, často doprovázené absencí břišních reflexů.^[4] V počátcích onemocnění pozorujeme snížení síly až lehkou parézu s postupným rozvojem spasticity.^[9] Spasticitu nalézáme u 80-85 % případů.^[4] Zasahuje dvakrát častěji dolní končetiny než horní, které bývají postiženy převážně akrálně.^[9] Motorické postižení pacienta patří mezi nejobávanější syndromy a je nutné jej hodnotit vzhledem k denním činnostem.^[4]

Velmi časté je zasažení **vestibulocerebelárního systému**, projevující se ataxií a tremorem. Ataxii vnímá pacient jako nepřesnost při provádění pohybů horní končetinou (dysmetrie, hypermetrie a dysdiadochokineze) a nestabilitu při stoji a chůzi.^[4] Při vyšetření taxie u pacientů s RS nalézáme intenční tremor. Tremor si pacient nemusí uvědomovat, ale výrazný tremor je značně invalidujícím faktorem.^[4]

Při zasažení **mozkového kmene** dochází nejčastěji k rozvoji okoohybné poruchy, kterou jsou postiženi 3 pacienti ze 4. Projevem je diplopie až vertigo.^[4] Často je přítomný horizontální nystagmus.^[9] Méně častým projevem je neuralgie trigeminu a paréza lícního nervu. V pokročilejších stádiích nemoci se objevuje dysfagie a dysartrie.^[4]

Neméně časté bývají i **mikční a sexuální poruchy**, které postihují 35-97 % nemocných s RS.^[4] Klinický obraz je poté závislý na úrovni postižení dolních cest močových a na stupni postižení nervových drah. Potíže lze v zásadě rozdělit na polakysurie a nykturie, typické pro neurogenní hyperaktivitu detrusoru. Nebo dysurie s prolongovanou mikcí, způsobenou hypokontraktilitou detrusoru, která může vyústit až v uretrální dysfunkce, od inkontinence až po retenci moče.^[4]

Sexuální dysfunkce narušují intimní soužití páru, často se objevují problémy s početím. U žen bývá snížené libido, citlivost, vzrušení a dysfunkce orgasmu. U mužů nalézáme erektilní a ejakulatoční dysfunkce.^[4]

Roztroušenou sklerózu často doprovázejí i poruchy v **psychické rovině**, které můžeme rozdělit do dvou skupin. Jedná se o poruchy emocí (euforie a deprese) a poruchy v rovině kognice. Nejčastěji se u pacientů s RS rozvíjí deprese, která se manifestuje až 3x častěji než u běžné populace.^[4] Souvisí jednak se závažností onemocnění, se sociálním dopadem a často bývá součástí vedlejších účinků farmak. Dvakrát častěji nalézáme i další onemocnění jako je afektivní bipolární porucha a psychózy.^[4] Nezanedbatelné jsou i úzkostné poruchy.

Až 90 % pacientů si stěžuje na **patologickou únavu**, která je velmi limitující při vykonávání běžných denních činností. ^[5] Příčina není dosud objasněná, ale předpokládá se multifaktoriální vliv imunitního a endokrinního systému spolu se zasažením CNS.^[4] Podstatnou roli hraje i teplota, vyšší teplota zhoršuje příznaky RS.^[5]

2.1.3 Klasifikace

Průběh onemocnění je velmi variabilní. Podle závažnosti můžeme RS rozdělit na maligní a benigní formu. Vhodné je onemocnění hodnotit retrospektivně, protože prognózy na základě neurologických obtíží a četnosti atak mohou být zavádějící.^[5]

Maligní forma RS se vyznačuje větším počtem atak, bez remise obtíží. Často dochází k rychlému rozvoji invalidity a může končit až fatálně.^[4]

Při benigní formě RS naproti tomu pacient prodělá malé množství atak, bez relapsů. Často dochází k úplné nápravě neurologického deficitu.^[5]

Národní společnost pro roztroušenou sklerózu stanovila v roce 1996 čtyři formy roztroušené sklerózy.^[5] Ty stanovují průběh onemocnění na základě četnosti atak, progresivnímu zhoršování deficitu a remisi onemocnění.

Relaps-reminentní forma RS je charakterizována střídáním období atak a remise, které mohou trvat řádově roky (5-15 let).^[4] Jedná se o nejčastější formu (85-90 % pacientů), v období remise dochází k úplnému uzdravení nebo jen k mírnému rozvoji neurologického deficitu. S prodlužující se délkou onemocnění ovšem může dojít k nárůstu deficitu a onemocnění se může přehoupnout do druhé formy.^[5]

Sekundárně progresivní forma RS navazuje na relaps-reminentní formu, dochází k postupnému rozvoji invalidity vlivem vyčerpání regeneračních schopností CNS. Ataky nebývají již tak výrazné, ale nedochází již k období remise, ale spíše k akumulování neurologického deficitu.^[5]

Primárně progresivní forma RS postihuje především muže v pozdějším věku (40-50 let) s četností kolem 10-15 %.^[5] Dochází k neustálému nárůstu neurologického deficitu bez období remise a výrazných atak. Často s kolísavým charakterem.^[4]

Progresivní relabující forma RS je nejméně běžnou formou RS, ale s nejzávažnější prognózou. Po atace prakticky nedochází ke zlepšení obtíží, ale k trvalému neurologickému postižení, které vede k invaliditě.^[5]

2.1.4 Rehabilitace

Jak už bylo popsáno výše, je roztroušená skleróza mozkomíšní onemocnění, které se projevuje variabilní škálou klinických příznaků. Proto je potřeba ke každému pacientovi přistupovat komplexně a respektovat individuální projevy onemocnění. Doposud nebylo nalezeno žádné farmakum, které by primární příčinu onemocnění odstranilo a nemoc vyléčilo. Hlavním patologickým mechanismem je autoimunitní zánět.^[4] Proto většina léků cílí právě na jednotlivé složky a projevy zánětu. Nejpoužívanější jsou následující tři skupiny léků. Kortikosteroidy, které snižují tvorbu cytokinů IL-1 a IL-2, interferonu γ a tumor nekrotizujícího faktoru.^[9] Imunomodulační léky podporují tvorbu protizánětlivých cytokinů a nezanedbatelný je i jejich antiproliferativní účinek.^[9] A imunosupresiva, která omezují proliferaci a expanzi autoreaktivních lymfocytů.^[9] Pokud je správně nastavená farmakologická léčba, je nezbytné začít s efektivní fyzioterapií, která je součástí komplexní péče

o pacienta. Důležité je stanovit reálné rehabilitační cíle, podle přání pacienta, aktuálního zdravotního stavu a fázi daného onemocnění. V průběhu ataky by se fyzioterapie měla zaměřit na zmírnění vzniku sekundárních komplikací a zachování aktuální fyzické kondice a kloubního rozsahu.^[5] Po stabilizaci akutního stavu by měl následovat pravidelný pohybový režim s cílem zvýšit svalovou sílu a vytrvalost, který by se měl řídit podle individuální neuromuskulární únavy.^[10]

Při vzniku neurologického deficitu, dochází ke zpomalení a snížení obratnosti při vykonávání běžných denních činností. Postupně dochází k prohloubení dysfunkce, která může vést až k invaliditě.^[10] Fyzioterapie využívá metody, které by tento průběh měly zvrátit, nebo alespoň zpomalit a snížit dopad dysfunkcí na život pacienta. Dané koncepty, pracují na neurofyziologickém podkladu. To znamená, že využívají plasticity mozku, který je schopen díky reparaci a strukturní přestavbě obnovit alespoň částečně ztracenou funkci.^[5] K tomu je zapotřebí využít vnější stimuly (odpor, facilitace, dopomoc, reflexní stimulace a další) k aktivaci daných nervových drah. Cílem je poté senzo-motorické učení, které slouží k reedukaci motorických funkcí a spouštění správných motorických programů.^[10]

Za tímto účelem se nejčastěji využívají následující metody: Vojtova reflexní lokomoce, Proprioceptivní neuromuskulární facilitace, Bobath koncept, Motorické programy aktivující terapie, Senzomotorická stimulace a Dynamická neuromuskulární stabilizace.

Samotná rehabilitace se u RS zaměřuje mimo jiné na snížení spasticity, zmírnění svalových dysbalancí, zvýšení svalové síly, obnovu správných pohybových stereotypů, koordinace a stability.^[10]

2.2 Virtuální realita

Virtuální realita (VR) je simulace skutečného, podobného nebo zcela odlišného světa, zprostředkována za pomoci OLED (Organic light-emitting diode, mezi dvěma elektrodami je umístěná elektroluminiscenční látka, organické povahy) nebo LCD (Liquid Crystal Display, mezi dvěma elektrodami a polarizačními filtry se nachází vrstvička tekutých krystalků) obrazovek s vysokým rozlišením umístěných před očima uživatele často doplněná sluchovými a dalšími senzorickými vjemy. Polohová a rotační čidla umožňují uživateli se v daném prostředí rozhlížet, pohybovat a interagovat s virtuálními předměty. To vše navozuje uživateli fyzickou přítomnost v daném prostředí.^[11]

2.2.1 Historie

Stanovit přesné počátky VR není snadné, kvůli obtížnosti určit přesnou definici daného pojmu.^[12] První náznaky perspektivy a iluze se objevují již v renesanční Evropě.^[13] Rozvoj virtuální reality v pravém slova smyslu nastal až v 70. letech 20. století, nejprve jen vytvořením virtuální mapy a prohlídky Aspeny Davidem Em. A následně v 80. letech zažívá VR rozmach díky průkopníkovi a zakladateli společnosti VPL Research Jaronu Lanierovi, který danou technologii zpopularizoval. V 90. letech došlo k širšímu rozšíření komerčních souprav pro virtuální realitu, hlavně v herním průmyslu, zásluhou firmy Sega.^[11]

V roce 2010 Palmer Luckey ve spolupráci s Facebook Inc. vytvořil prototyp přístroje Oculus Rift.^[14] V dnešní době je nejrozšířenější verze HTC Vive SteamVR od společnosti HTC, umožňující uživatelům volný pohyb v prostoru a interakci s virtuálními předměty.^[11]

Samotné využití VR v rehabilitaci můžeme datovat do 90. let 20. století, kdy profesor Daniel Thalmann vytvořil první behaviorální animaci, tzv. Virtual Human, sledující krokový mechanismus.^[15] Je jedním ze spoluzakladatelů Mezinárodní společnosti pro virtuální rehabilitaci (ISVR), založenou v roce 2009. ISVR je multidisciplinární organizace, sdružující technické a zdravotnické obory za účelem podpory výzkumu, vzdělání a rozvoje rehabilitačních metod. Své výsledky zveřejňuje na vědeckých konferencích a četnou publikační činností.^[16]

Další významnou osobností byl americký profesor Max M. North, který vydal první knihu na toto téma *Virtual Reality Therapy, an Innovative Paradigm*.^[17]

2.2.2 Virtuální realita v rehabilitaci

Pokrok v technologiích a rozšíření terapeutických přístrojů otevírá nové možnosti v moderní rehabilitaci. Pacientovi můžeme v zásadě nabídnout dva typy rehabilitace s virtuální realitou Non-immersive – nepohlcující, nebo Immersive – pohlcující VR.^[18] Při nepohlcující VR, je uživateli promítán jen dvojrozměrný obraz většinou za pomoci obrazovky počítače, případně televize. Pacient se může v prostředí pohybovat za pomoci joysticku, myši, nebo senzoru umístěného na končetině.^[18] Tento typ virtuální reality se většinou užívá jako doprovodná část hlavní rehabilitace např. při jízdě na rotopedu, motodlaze, nebo trenažérech. Pro horní končetinu lze využít koncept Armeo, například Armeo®Senso nebo Armeo®Spring.^[19] Horní končetina je zavěšená do vnějšího exoskeletu a obsahuje senzory zaznamenávající pohyb. Pacient poté provádí pohyb v herním prostředí a plní zadané úkoly, výsledný pohyb je následně vyhodnocován.^[19] Systém Rehawalk® je naopak vhodný při rehabilitaci stereotypu chůze, sleduje a vyhodnocuje chůzi a její parametry. Nabízí také vizuální stimulaci pomocí promítání plosek nohou na chodícím páse, případně vizualizaci trati na obrazovku.^[20]

V Immersive – pohlcující VR je uživateli zprostředkováno virtuální prostředí pomocí brýlí a osoba je umístěna přímo ve virtuálním prostředí. To umožňuje uživateli se plně vcítit do daného prostředí a soustředit se na zadaný úkol.

Tuto aktivní terapii nabízí balanční systém Icaros. Pacient je umístěn na konstrukci, kde má opory o horní a dolní končetiny a pohybuje se kolem svého těžiště, zároveň je pomocí 3D brýlí přenesen do virtuální reality. Mezi další terapeutické přístroje patří KAT Walk VR (běžecký tretražér), VRGO Chair (upravená židle) nebo Birdly® (simulátor létání).^[21]

Pohlcující i nepohlcující VR patří mezi aktivní rehabilitaci, pacient aktivně procvičuje dané svalové skupiny a provádí pohyb se zaměřením na horní, dolní končetiny, chůzi nebo rovnováhu, přitom je důležité dbát na správné provedení.

Naproti tomu, při pasivní VR je pacientovi promítáno video, kde je daný pohyb přesně prováděn. Terapie na principu cvičení s představou se využívá u pacientů s centrální nebo periferní poruchou. Umožňuje zpětnou stimulaci a sama představa pohybu může vést k obnově nervového řízení, nebo zachování stávajících funkcí.

Tímto se zabýval Polák A., 2017, který ve své práci prokázal, že samotné sledování videa vede ke zlepšení fyzického stavu a svalové hmoty u pacientů po míšní lézi.^[22]

S rozvojem telemedicíny se otvírají i možnosti vzdálené rehabilitace v domácím prostředí s mírnou kontrolou terapeuta.

2.2.3 Virtuální realita v rehabilitaci RS

Autoři Jonsdottir et al., 2019^[23] realizovali studii sledující vliv herního přístupu VR na rehabilitaci postižené horní končetiny u nemocných s RS a překříženého efektu terapie na nerehabilitovanou končetinu. Programu se zúčastnilo 18 lidí se středně závažnými až závažnými projevy roztroušené sklerózy (EDSS 4-8). Celkem absolvovali 12 herních lekcí pod dohledem fyzioterapeuta v délce 45 minut. Cílem hry bylo umístit postiženou paží barevné plechovky do jedné ze čtyř polic. Výsledky terapie se testovaly pomocí Nine Hole Peg Testu (9HPT) a Box and Block Testu (BBT).

Na léčené paži došlo k statisticky významnému zlepšení v průměru o 17 %, na neléčené paži v průměru o 15 % při měření pomocí 9HPT. U testu BBT došlo na léčené paži ke statistickému zlepšení o 18 %, na neléčené paži o 10 %. Rehabilitace s využitím virtuální reality tedy pozitivně ovlivnila funkci obou (léčené i neléčené) končetin, pacienti byli ochotni v budoucnu v dané léčbě pokračovat.^[23]

Randomizovaná jednoduše slepá studie^[24] vyhodnocovala vliv virtuálního rehabilitačního systému KINECT RemoviEM ve srovnání se standartní rehabilitací. Výzkumu se zúčastnilo 11 pacientů s RS (EDSS do 6). Obsahem terapie byly tři hry – Touchball (cílem jsou laterální pohyby trupu ve stoji nebo sedě), TakeBall (diagonály Kabat – přesun objektů) a StepBall (přenášení váhy při překračování objektů). Pacienti absolvovali celkem 10 rehabilitací. Pozitivní dopad se hodnotil pomocí Berg Balance Scale (BBS), Tinetti Balance Scale, The Single Leg Balance testem a testem chůze na vzdálenost deseti metrů. Došlo k významnému zlepšení v BBS oproti kontrolní skupině, stejně tak v testu The Single Leg Balance. V Tinetti Balance Scale nedošlo k významnému rozdílu mezi oběma skupinami. Dalším pozitivním efektem rehabilitace byla větší motivovanost pacientů.^[24]

V roce 2017 proběhla nerandomizovaná kontrolovaná studie pod vedením Sarah Thomas et al.^[25] zkoumající přijatelnost a vhodnost domácího herního systému Nintendo Wii za účelem zvýšení aktivity, vitality a psychické pohody u lidí s RS. 30 pacientů bylo náhodně rozděleno do dvou skupin, jedna začala s terapií na systému Nintendo Wii ihned po zařazení do studie, druhá až po 6měsíční prodlevě. Celé sledování trvalo 12 měsíců. Pacienti absolvovali 2 cvičení pod dohledem terapeuta a následně domácí terapii s podporou fyzioterapeutů na dálku, v případě potřeby telefonicky. Pacienti také dostali brožury s dotazníky. Cílem bylo zvýšení fyzické aktivity probandů a snížení nutnosti docházet do zdravotnických zařízení. Celkově jsou výsledky této studie na základě dotazníků slibné, ale je nutné dále pokračovat v hodnocení účinnosti a efektivity domácího cvičení.^[25]

Autoři Kaltron et al.^[26] provedli v roce 2016 randomizovanou studii vlivu rehabilitačního systému virtuální reality CAREN na posturální kontrolu u lidí s RS. 30 pacientů s průměrným EDSS 4,1, bylo rozděleno do dvou skupin.

Každá skupina absolvovala v 6 týdnech 12 terapií po 30 minutách. Použitý systém CAREN obsahuje pohyblivou plošinu a velkou obrazovku (3 m x 2,5 m). Cvičení zahrnovalo udržení rovnováhy na cestě a zachycení 18 pohyblivých cílů. Druhá skupina prošla cvičebním programem skládající se z 10 minut protahování a 20 minut terapie kontroly stability na nestabilních plošinách a chytání hozeného míče. Po ukončení terapií byly u pacientů vyhodnoceny posturografické parametry na běžecím pásu Zebris FDM-T a provedeny testy klinické rovnováhy (Berg Balance Test, The Four Square Step Test a The Falls Efficacy Scale International). Většího zlepšení na klinických testech rovnováhy dosáhla skupina, která absolvovala terapii na systému CAREN, posturografické parametry se nelišily. Studie prokázala, že systém CAREN je efektivní metodou pro trénink rovnováhy, ale přesto není zamýšlen jako náhrada klasické terapie.^[26]

3 Experimentální část

3.1 Design studie

Prospektivní studie byla realizována Klinikou rehabilitačního lékařství FNKV v Praze, 3. LF UK za spolupráce Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Vývoj aplikace probíhal od května 2019, samotné testování pak v období od října 2019 do srpna 2020. Nemocní s roztroušenou sklerózou mozkomíšní splňující vstupní kritéria byli vybráni na základě inzerce studie v MS centrech, Unii Roska a SMS ve dvou vlnách (první a druhá kohorta). První kohorta absolvovala 15 terapií v délce přibližně 45 minut na první verzi terapeutické aplikace, druhá kohorta pak 10 terapií ve stejné délce na rozšířené verzi zmíněné aplikace. Terapie probíhala ve virtuálním prostředí zprostředkovaném platformou HTC Vive, pod vedením a kontrolou terapeuta. Samotná terapeutická jednotka pak byla složená z PNF diagonál, nácviku vstávání a sbírání fixně umístěných míčků, v posturálních pozicích aktivovaných pomocí MPAT. Výsledný terapeutický efekt na funkčnost horní končetiny byl zhodnocen pomocí klinických testů (Hand Grip, Nine-Hole Peg Test, Box and Block Test, měření posturálního třesu), rychlosti vstávání (Five Times Sit to Stand Test) a doplněn o dotazníky (MSIS-29, EQ-5D-5L-health questionnaire, Stupnice celkového hodnocení a dotazník týkající se virtuální reality).

3.1.1 Cíle a hypotéza

Cíle

- 1) Vytvořit a optimalizovat fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí, využívající již existující platformu přístroje HTC Vive.
- 2) Optimalizovaným fyzioterapeutickým programem ve virtuálním prostředí zvýšit funkčnost horních končetin, koordinaci trupového svalstva a stabilitu při vstávání.

Hypotéza

- 1) Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí pozitivně ovlivní sledované parametry funkčnosti horních končetin, koordinaci trupového svalstva a stabilitu při vstávání.

3.2 Tvorba a optimalizace fyzioterapeutického programu ve virtuálním prostředí

3.2.1 Návrh terapeutické aplikace

Vývoj terapeutického softwaru probíhal za spolupráce vývojářského týmu z Fakulty aplikovaných věd ZČU v Plzni pod vedením doc. Ing. Libora Váši, Ph.D. Prvním krokem ve vývoji nového terapeutického programu bylo specifikovat cíle a požadavky, které jsme od nového softwaru očekávali. Naším primárním cílem bylo vytvořit fyzioterapeutický program, zaměřený na funkci horních končetin a správné držení těla při sedu, jenž by pacientovi poskytoval zpětnou vazbu o správnosti prováděných cvičení. Na základě toho jsme si připravili několik návrhů cvičebních sestav a her.

Jejich cílem bylo zvýšit pacientovu motivaci a provádět specifické pohyby při správném nastavení jednotlivých tělních segmentů. Jednotlivé úkoly mají pacientovi pomoci zafixovat správné pohybové stereotypy a zvyšovat rozsah pohybu. Zároveň mají při vyšším počtu opakování vést ke zvýšení fyzické zdatnosti a vytrvalosti. Z tohoto důvodu jsme vybírali právě ty hry, které by naše požadavky splňovaly. Vycházeli jsme také z již provedených studií, které měly prokazatelný terapeutický efekt. Hry jsme rozdělili do čtyř skupin podle náročnosti na vývoj a komplexnost jednotlivých pohybů ke splnění úkolů.

První návrh byl na komplexní hru: **Hledání pokladu Jezuitů**, které navrhly kolegyně z Ergoterapie FNKV Bc. Petra Krůtová a Bc. Simona Koutná – Ježilová. Hra by nabízela široké spektrum úkolů (hledání mapy, sbírání předmětů, příprava lektvarů, přesouvání předmětů a pohybování se v prostoru) při cestě za pokladem.

Pacient by mohl interagovat s virtuálními předměty a procházet virtuální prostředí, to by umožnilo pacientovi provádět komplexní spektrum pohybů horní končetinou a specifické úchopy při plnění jednotlivých úrovní. Hledání pokladu Jezuitů bylo použito v pilotním projektu, které očekávané zlepšení neprokázalo, pouze byl naznačen trend ke zlepšení sledovaných parametrů.^[33]

Sportovní hry jako je házení míče na koš, střelba na cíl, hod oštěpem, lukostřelba a další, jsou běžně dostupné hry pro virtuální realitu, které ale neumožňují sledovat a vyhodnocovat prováděné pohyby. Uvažovali jsme o hře, která by poskytovala feedback (zpětná vazba) a započítávala jen ty pohyby provedené správnou technikou.

Další návrhem byly hry typu: **Trhání ovoce** (ovoce by bylo umístěné v horní třetině pacientova zorného pole a následně by se umisťovalo do košů u nohou pacienta), **chytání míčků** (z různých směrů by na pacienta vystřelovaly nebo padaly míčky, ty by se musely chytat a odkládat), **příprava koktejlů** (z polic sundávat potřebné ingredience, a ty by se postupně vkládaly do šejkru a po zamíchání by došlo k nalití do koktejlové sklenice) a **stavění zdi** (z hromady u nohou by se vybíraly jednotlivé cihly), kdy by se skládaly na sebe, dokud by nevznikla zeď požadovaného tvaru).

Jednotlivé hry by pacienta stimulovaly k širokému spektru pohybů horní končetinou v maximálních rozsazích a k pohybům trupu (předklony a úklony) při natahování za jednotlivými předměty. Inspirací pro tyto hry byla studie Jonsdottir et al., v níž pacienti přesouvali barevné plechovky do polic.^[23] Dále pak jednoduše slepá studie, která vyhodnocovala rehabilitační systém KINECT RemoviEM, v němž pacienti hráli tři hry (Touchball, TakeBall a StepBall viz výše).^[24]

Poslední skupinou byly jednoduché hry, které by po pacientovi vyžadovaly plnění krátkých úkolů. **Obtahování symbolů** (čínské znaky, ornamenty), jenž by vykonával rukou nebo prstem. **Spojování bodů v prostoru / posouvání míčků** (v přesném pořadí), **krájení ovoce** (podle zadání), **hraní piškvorek**.

Námi vytvořený optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí je založen na neurofyziologickém podkladě a využívá virtuálního prostředí v kombinaci s prvky Motorické programy aktivující terapie (MPAT) a Proprioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF). Pomocí MPAT je terapeutem aktivován motorický program pro sed. V této aktivní pozici rehabilitant provádí komplexní cílené pohyby horními končetinami dle PNF, jejich spuštění je motivováno vhodně naprogramovaným virtuálním prostředím. Pohyb končetin je korigován a dle potřeby facilitován terapeutem. Dále je pak nabídnuto virtuální prostředí, které dle MPAT navede rehabilitanta do stoje a zpět. Současně terapeut aktivuje motorické programy pro zved, stoj a sed.

Proprioceptivní neuromuskulární facilitace je metoda, využívající facilitaci (stimulaci, nabuzení) proprioceptivních orgánů k usnadnění reakce nervomuskulárního mechanismu.^[34] Mezi facilitační mechanismy řadíme například: slovní povely, zrakovou kontrolu, protažení, odpor a manuální kontakt při vedení pohybu.^[34] To vše vede k navedení a k spuštění správného pohybového vzoru „*Pohyby jsou uspořádány do tzv. sdružených pohybových vzorů.*“ (Holubařová, Pavlů, 2017, s. 27)

To znamená, že daného pohybu se účastní svalové skupiny (agonisti a antagonisti) a pohyb je současně prováděn v několika kloubech a rovinách.^[34] Daný pohyb se proto provádí v určitém časovém sledu po diagonální a spirální křivce, kde probíhá flexe nebo extenze a abdukce nebo addukce, za účasti rotace (zevní nebo vnitřní).^[34] Pohyb vedený po diagonále aktivuje končetinu od akra až po kořenové klouby a trup.

Ve vývoji metodiky jsme převzali **I. a II. diagonálu, flekční i extenční vzorec** pro horní končetiny, přičemž jsme je chtěli provádět vsedě. Virtuální realita by danou diagonálu vizualizovala ve 3D a zobrazila by horní končetinu ve správném nastavení v daném časovém sledu. PNF byla použita i v rehabilitačním systému KINECT RemoviEM.^[24]

Motorické programy aktivující terapie je metoda založená na aktivaci motorických programů, vytvořených v průběhu posturálního vývoje, které se spouštějí na podvědomé úrovni.^[35]

Podmínkou spuštění daného motorického programu je správné výchozí nastavení jednotlivých tělních segmentů a správně zacílené stimuly, na které daný neuromuskulární systém reaguje v určité kvalitě.^[36] Posléze dochází k aktivování celého těla, k souhře mezi posturálními a fázickými svaly, díky čemuž dochází k funkčnímu centrování kloubů, napřímení páteře a k podpoře posturální stabilizace. Terapie využívá mozkové plasticity k osvojení motorických dovedností, které je možné následně využít v běžném životě.^[36] V průběhu terapeutického programu byl terapeutem aktivován motorický program pro sed, zved ze židle do stoje, stoj a sed zpět na židli. Rehabilitovaný byl k provedení motivován vhodným virtuálním prostředím.

Virtuální prostředí

Na úvodním setkání multidisciplinárního týmu bylo rozhodnuto, že vývoj terapeutické aplikace proběhne na platformě HTC Vive. Pro výběr dané platformy jsme se rozhodli na základě výzkumu kolegy J. Franka.^[2] StreamVR Tracking poskytuje přesnější sledování senzorů než ostatní nabízené platformy.^[2]

Platforma HTC Vive byla zakoupena pro Klinikou rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze díky daru SMS, sdružení mladých sklerotiků (předávací protokol 2017/30/F, viz příloha č. 4). V současné době je HTC Vive dostupný systém pro virtuální realitu s širokou variabilitou rozšíření. Obsahuje headset s dvěma displeji o celkovém rozlišení 2160x1200 pixelů, napojený k počítači.^[37] Headset vykresluje hráči virtuální prostředí. Dále pak dva controllery (ovladače), s nimiž hráč interaguje s virtuální realitou a dva lighthouses (sledovací stanice), které pomocí technologie SteamVR Tracking sledují pohyb daných zařízení. Celá soustava se dá rozšířit o další doplňky. V rámci naší terapeutické aplikace jsme využili Trackery (viz obrázek č. 10 v příloze č. 7), aby sledovaly pacientův pohyb. Běžně se používají například na makety zbraní pro virtuální hry k zvýšení realističnosti.^[2]

Obrázek č. 1: Platforma HTC Vive, headset, controllery, trackery a lighthouses



Zdroj: <https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-model-htc-vive/1037510>

Na základě co nejkompexnějšího sledování a vyhodnocování pacientova pohybu jsme se dohodli, že výsledná aplikace bude zaznamenávat pohyb nejen paže, ale i hrudníku a hlavy. Z toho důvodu bylo zvoleno následující umístění trackerů (senzorů). Pohyb hlavy bude sledovat headset. Pohyb hrudníku bude snímat tracker umístěný na hrudi v místě processus xiphoideus. Pohyb paže bude vyhodnocován dvěma trackery, jedním umístěným v místě úponu musculus deltoideus a druhým v místě zápěstního kloubu (articulatio radiocarpalis) viz obrázek č. 11 v příloze č. 7.

Následně proběhla diskuse ohledně výběru vhodných her a cvičebních sestav. V úvahu jsme museli vzít terapeutický efekt dané aplikace, programátorské nároky na vytvoření komplexního virtuálního prostředí s prvky, se kterými by subjekt mohl interagovat a na možnosti daný pohyb zaznamenávat a vyhodnocovat. Na základě těchto parametrů jsme došli k závěru, že do programu nezahrneme složitější hry, ale zaměříme se na jednoduché úkoly. Ty rehabilitovanému kladou specifické nároky na kvalitu prováděných pohybů. Bylo tedy rozhodnuto, že hlavní náplní naší aplikace, bude cvičební jednotka složená z PNF diagonál a nácvičku vstávání, doplněná o jednu hru obsahující sbírání fixně umístěných míčků v prostoru.

Kolegové z Fakulty aplikovaných věd ZČU si nahráli vzorové diagonály a nácvičku vstávání (viz obrázek č. 12 v příloze č. 7), aby mohli připravit terapeutickou aplikaci.

I. diagonála – flekční vzorec s flexí lokte se nahrávala z výchozí pozice v korigovaném sedu, kdy byla paže v extenzi, mírné abdukci podél těla a vnitřní rotaci. Lopatka se nachází v addukci, přiložená k hrudníku a ve vnitřní rotaci dolního úhlu. Loket je v extenzi, předloktí v pronaci a zápěstí v dorzální flexi směrem ulnárním. Prsty jsou v extenzi a mírné abdukci a směřují zevně od pacientova femuru.^[34] Následný pohyb začíná rotací předloktí do supinace, dochází k addukci a flexi prstů radiálním směrem a flexí zápěstí. Následuje flexe loketního kloubu a paže se zvedá úhlopříčně nad protější rameno s flexí, addukcí a zevní rotací v rameni.^[34] Lopatka vykonává abdukci a dochází k rotaci dolního úhlu zevně.^[34] Pohyb je ukončen v pozici, kdy je rameno ve flexi, addukci a zevní rotaci a ruka se nachází zhruba nad úroveň hlavy na kontralaterální straně. Odtud následuje opačný pohyb v extenčním vzoru I. diagonály, započatý opět rotací zápěstí a předloktí ze supinace do pronace. Prsty provádí extenzi a abdukci ulnárním směrem. Zápěstí přechází z palmární flexe do dorzální flexe ulnárně, probíhá extenze lokte a paže se vrací do výchozí pozice s ramenem v extenzi, abdukci a vnitřní rotaci, lopatka je usazená v addukci.

II. diagonála – flekční vzorec, výchozí pozicí byl opět korigovaný sed. Prsty se nachází ve flexi a addukci, zápěstí je ve flexi ulnárním směrem přiložené v blízkosti kontralaterální spiny iliaci anterior superior, předloktí v pronaci, loket ve flexi.^[34] Rameno je nastaveno do extenze, addukce a vnitřní rotace. Lopatka zaujímá abdukci s rotací dolního úhlu vnitřně.^[34] Pohyb opět začíná rotační složkou předloktí a zápěstí do supinace. Prsty se natahují za abdukce radiálním směrem, zápěstí přechází do dorzální flexe radiálním směrem.^[34] Loket provádí plnou extenzi. Rameno zaujímá flexi, abdukci a zevní rotaci za účasti lopatky, která se přitahuje k páteři (addukce) s rotací dolního úhlu zevně. Pohyb končí v pozici, kdy se paže nachází na ipsilaterální straně v extenzi, dlaní vzhůru nad úroveň hlavy. Odtud následuje II. diagonála – extenční vzorec s rotací předloktí a zápěstí do pronace. Prsty se svírají (flexe, addukce), zápěstí provádí palmární flexi ulnárním směrem. Loket přechází z extenze do flexe, rameno do extenze, addukce a vnitřní rotace s pohybem lopatky do abdukce. Pohyb je ukončen ve výchozí pozici pro II. diagonálu – flekční vzorec.

Vytvořili jsme ještě druhou **variantu II. diagonály** (nazvanou III. diagonála) – flekční a extenční vzorec, kde výchozí pozice nebyla na kontralaterální spině iliace anterior superior, ale na kontralaterálním vnitřním kotníku (malleolus medialis), kdy musel proband přejít z korigovaného sedu do předklonu se správným postavením napřimené páteře. To znamená bez flexe v bederní páteři, ale pohybem v kyčelních kloubech.

Nácvik vstávání

Motorický program pro sed je aktivován, pokud jsou klouby celého těla funkčně centrovány. Tomu napomáhá vhodně zvolená sedací plocha, která by měla být ve výšce asi jeden centimetr nad kolenem, přičemž kolena jsou flektována do pravého úhlu. Váha je rovnoměrně rozložena mezi obě končetiny a plosky jsou v plném kontaktu s podložkou. Dolní končetiny zaujímají zevní rotaci a osa steh, bérce a plosky je v jedné vertikální rovině. Naklopením pánve do anteverze současně s vnitřní rotací žeber je docíleno optimálního zakřivení páteře. Vhodně aplikované podněty (například propioceptivní dráždění ve smyslu protažení svalu nebo adaptabilního odporu, sluchové podněty) aktivují program pro sed (během aktivovaného sedu dochází k souhře svalů celého těla). Z této výchozí aktivní pozice terapeut navede rehabilitovaného do stoje. V průběhu pohybu aktivuje program pro zvednutí se do stoje, k jehož realizaci je rehabilitovaný motivován virtuálním prostředím viz obrázek č. 18 v příloze č. 7 (spojenými, předpaženými horními končetinami v horizontální poloze sleduje trajektorii pohybu, která ho navede přes hluboký předklon do stoje).

3.2.2 Preklinická fáze

Po stanovení požadavků na aplikaci sestavili kolegové na Fakultě aplikovaných věd ZČU prvotní verzi terapeutického programu, která využívala platformy HTC Vive.

Proband musel mít headset a 3 trackery, jeden umístěný na hrudníku za pomoci vesty, druhý na paži a třetí na zápěstí, připevněný suchým zipem (viz výše).

Terapeutický program byl zasazen do virtuálního Stonehenge a obsahoval hru sbírání míčků, jenž byly fixně rozmístěny ve virtuálním prostředí a proband je mohl sebrat, jakmile se jich dotkl senzorem umístěným na zápěstí.

Dále pak obsahoval I. a II. diagonálu na pravou a levou horní končetinu a diagonálu pro nácvik vstávání. Virtuální model 3D paže byl bílý. Vytvořené diagonály vykreslovaly ve virtuálním prostředí křivky pohybů pro všechny senzory. Na pravé straně zorného pole se nacházela tabulka, která zobrazovala název cvičení, počet opakování, kvalitu a rozsah pohybu daného cvičení.^[2]

Vytvořenou terapeutickou sestavu si vyzkoušelo 12 dobrovolníků (kolegové z ročníku, ergoterapeuti z Kliniky rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze, pacienti hospitalizovaní na Klinice rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze) viz obrázek č. 13 v příloze č. 7. Na základě zpětné vazby a diskusí jsem stanovil několik bodů, které se musely optimalizovat.

- 1) Virtuální ruka ve hře s míčky byla špatně pootočená a sbírání míčků zápěstím bylo nefyziologické.
- 2) Virtuální model 3D paže/ruky působil nepřirozeně a paže se často nacházela v jiné pozici než paže probanda.
- 3) U dané diagonály byly vykresleny všechny křivky sensorů, což bylo pro dobrovolníky matoucí, dokázali se soustředit pouze na jednu křivku.
- 4) Docházelo k posunu vykreslené diagonály vůči výchozí pozici probanda.
- 5) Výsledek terapie se nezaznamenával.

3.2.3 Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí pro 1. kohortu

Na základě předchozích poznatků došlo k přepracování a rozšíření původní verze programu.

Model 3D ruky ve hře s míčky již nebyl bílý, ale ve fyziologické barvě. Virtuální model se zároveň pootočil tak, aby se zobrazoval ve správné pozici vůči ruce probanda. Sbírání míček nyní probíhalo pomocí dlaně ruky, a ne zápěstím jako u předchozí verze. A nakonec byla přidána aplikace pro umístování míček do virtuálního prostředí.

Došlo také k úpravě jednotlivých diagonál, aby se zobrazovaly ve správné pozici oproti výchozí pozici subjektu. V rámci dané diagonály bylo možné zobrazit pouze určitou křivku a ostatní nechat skryté tak aby nebyl proband zahlcen velkým množstvím pokynů. Virtuální paže získala fyziologickou barvu a bylo jí možné v terapeutickém programu posouvat, aby se vůči pacientovi nacházela v přirozené poloze. Spolu s tímto jsme do rehabilitačního cvičení zahrnuli i III. diagonálu, jednalo se o modifikaci II. diagonály, která k pohybu paže požadovala i pohyb trupem, z důvodu výchozí pozice u malleolus medialis (viz výše).

Diagonála pro nácvik vstávání byla omezena jen na křivku zobrazující směr rukou a bylo možné vybrat, zda se pacientovi bude zobrazovat křivka pro pravou nebo levou paži, kterou v průběhu vstávání sledoval.

Uživatelské rozhraní bylo rozšířeno o možnost nahrávání probandova pohybu v průběhu terapie a následném pozdějším přehrání. (viz obrázek č. 19, 20, 21, 22, 23 a 24 v příloze č. 7).

Tabulka po pacientově pravici se nezměnila, zobrazovala nadále název cvičení, popř. hry, počet splněných opakování, fázi a kvalitu. Zobrazovaná fáze pohybu vyjadřovala, v jaké části křivky se pacient nachází a zda daný cvik provedl celý. Výsledná hodnota se zobrazovala v procentech, kdy 0 % označovalo začátek pohybu a 100 % konečnou pozici cviku.^[2] Kvalita pohybu se vyhodnocovala na základě vzdálenosti senzoru od bodu tunelu (vzorová křivka).

Udávala se v procentech kdy 100 % odpovídalo takové vzdálenosti od tunelu, jenž byla menší nebo rovna jeho poloměru (senzor se nacházel na křivce) a s postupnou vzdáleností od tunelu klesala podle algoritmu i kvalita daného pohybu.^[2] U diagonál se vyhodnocoval pouze flekční vzorec.

3.2.4 Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí pro 2. kohortu

Po zkušenostech získaných při rehabilitaci s první skupinou dobrovolníků jsme se rozhodli některé prvky v terapeutickém programu upravit.

Došlo k přesunu informační tabulky, ta se nacházela na pravé straně scény před probanda, aby mohl lépe sledovat úspěšnost a počet opakování daného cvičení. Toto také umožnilo terapeutovi se lépe orientovat v jaké části cvičení se subjekt nachází.

Model trackeru se dříve zobrazoval ve virtuální realitě v podobě elipsoidu. Zelený značil tracker na zápěstí, modrý tracker umístěný na rameni a červený pro senzor na hrudníku. Nyní se zobrazoval v podobě barevné kostky s malým popisem (P zápěstí = pravé zápěstí atd.). V předchozí verzi po absolvování všech cvičení na jedné paži bylo nutné trackery přesunout na druhou končetinu, nyní jsme přidali i trackery pro druhou paži (viz obrázek č. 11 v příloze č 7), takže bylo možné přepínat jednotlivé cviky mezi pravou a levou, bez potřeby přesouvat umístěné senzory. Zároveň byl přidán i šestý tracker, což umožnilo zobrazovat pozici židle při nácviku vstávání, aby proband nedosedal do prázdna. Předchozí verze terapeutického programu neukazovaly za subjektem židli žádnou.

Do hry s míčky jsme přidali šipku, ta naváděla probanda k místu, kde se daný míček nacházel, aktivní míček se zobrazoval modře, sebraný míček měl zelenou barvu a ostatní míčky byly červené (viz obrázek č. 15 v příloze č. 7).

Přibýlo i nové cvičení, které obsahovalo pravotočivou a levotočivou spirálu (viz obrázek č. 19 a 20 v příloze č. 7), které mělo za cíl stabilizovat lopatku, případně eliminovat špatný pohybový stereotyp při abdukci v ramenním kloubu.

Jednotlivá cvičení byla rozdělena na pohyb s návratem (PNF diagonály) a pohyb bez návratu (spirály).^[2] U pohybu s návratem je konec cviku stejný jako jeho začátek a vede přes určitý vrchol pohybu. Díky tomu mohl nyní program vyhodnocovat nejen flekční vzorec diagonály, ale i extenční.

Abychom zvýšili realističnost virtuální paže, došlo k novému nahrání vzorového pohybu a vytvoření modelu 3D paže, která pacientovi předváděla správný pohyb v průběhu diagonály (viz obrázek č. 16 a 17 v příloze č. 7).^[3]

U předchozí verze probíhal minimální pohyb v oblasti ruky a prstů. Zároveň nabízelo uživatelské rozhraní možnost nastavit průhlednost virtuální paže tak, aby se v případě potřeby končetina vůbec nezobrazovala a pacient sledoval pouze pohyb trackerů po diagonále.

Do terapeutické aplikace byly přidány zvuky, které informovaly probanda o začátku cvičení a v průběhu vlastní sestavy hlásily, zda byl daný pohyb proveden správně nebo špatně (podle nastavení obtížnosti). Nahrávání a přehrávání pohybu zůstalo zachováno.

3.2.5 Uživatelské rozhraní

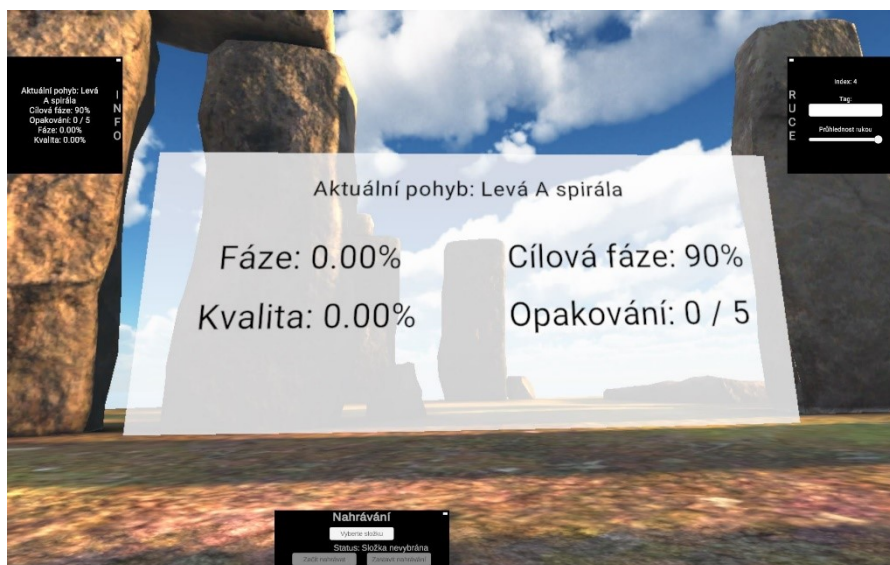
Terapeut ovládá celou aplikaci a spouští jednotlivá cvičení za pomoci klávesnice. Před začátkem samotného cvičení se zobrazuje vždy konfigurační scéna, která slouží k změření jednotlivých částí těla probanda (od hlavy k pravému zápěstí) a výpočtu poměru vzhledem k vzorovým hodnotám, tak aby byla jednotlivá cvičení zobrazována ve správné poloze a poměru k rozměrům probanda.^[1] Změření rozměrů probanda se provede stisknutím mezerníku. Následuje hlavní scéna s fyzioterapeutickým cvičením, spouštěná klávesou Enter kde proband vidí tabulku (Název cvičení, aktuální fáze, cílová fáze, kvalita pohybu a počet opakování) a daný cvik. Celou scénu vidí terapeut na svém monitoru (viz obrázek č. 2), kromě toho se mu ještě v uživatelském rozhraní zobrazují okna s nastavením, ty ale proband nevidí. V pravém okně může terapeut měnit nastavení průhlednosti pro 3D model paže pomocí posuvníku, od plného zobrazení paže přes poloprůhlednou až po její zmizení. V okně se zároveň zobrazuje index pro dané nastavení.

Je možné mít uloženo až 10 přednastavení pro průhlednost paže, která se přepínají klávesami 0-9 v horní řadě klávesnice. Zároveň má terapeut možnost upravit polohu modelu 3D paže, za pomoci šipek a na numerické klávesnici čísla 2 a 8. Horizontální směr se upravuje šipkami vpravo a vlevo, vertikální směr pak šipkami nahoru a dolů a klávesy 2 a 8, slouží k posunu paže vpřed, či vzad vzhledem k poloze pacienta. Dané klávesy posunují polohu paže o 1 cm, o 5 cm v případě kombinace s klávesou levý CTRL a o 10 cm s kombinací levý SHIFT. Obě paže se posunují symetricky.

V levém okně se zobrazují informace o aktuálním cvičení, shodné s tabulkou, kterou vidí pacient. U dolní lišty se pak nacházejí poslední dvě okna, sloužící k nahrávání a přehrávání pohybů probanda.^[1] V levém oknu si terapeut vybere složku, kam si daný záznam uloží a zapne nahrávání. V pravém okně pak následně může vybrat složku se zaznamenaným pohybem a zpětně ho přehrát. Ve scéně se poté zobrazí pohyb trackerů a headsetu po křivkách v odpovídajícím časoprostorovém sledu.

Jednotlivá cvičení spouští terapeut mezerníkem. Na konci terapeutické jednotky se program vypíná klávesami levý ALT + F4 nebo ESCAPE.

Obrázek č. 2: Uživatelské rozhraní zobrazované terapeutovi



Samotnou terapeutickou jednotku terapeut upravuje v hlavním konfiguračním souboru, typu XML, nazvaném *config.xml* v adresáři *StreamingAssets*.^[1] XML soubor používá pro zápis tzv. tagy neboli značky, které slouží k vyvolání jednotlivých příkazů. Párové tagy jsou složeny z otevíracího a uzavíracího tagu, mezi kterými je vložen daný příkaz např. `<repetitions>2</repetitions>`, příkaz pro dvě opakování cviku. V daném souboru může tedy terapeut za pomoci tagů určit posloupnost jednotlivých cvičení, dále zde může nastavit další globální nastavení.^[1] Mezi nejdůležitější patří například jazyk (tag `<lang>`), šipka pro míčkovou hru (tag `<hide_hint_arrow>`), model zobrazovaného trackeru (tag `<tracker_model>`), virtuální židle (tag `<hide_chair>`) a další.

Terapeutická jednotka je vložená mezi tagy `<exercises>` `</exercises>` a obsahuje tagy `<exercise>` s typem cvičení, které můžeme rozdělit na hru `type="game"` (míčková hra) nebo cvičení `type="movement"`, kam spadají spirály, diagonály a nácvik vstávání, označené `id="diag1_r"` (I. diagonála na pravou končetinu) s možností začlenit, jaká křivka se bude zobrazovat (např. křivka pro rameno a zápěstí: `hideHand="false"` `hideArm="false"`). Celý příkaz by pak vypadal takto: `<exercise type="movement" id="diag1_r" hideHand="false" hideArm="false">` a ukončený tagem `</exercise>`. Do daného příkazu je možno vložit další tagy definující rozsah pohybu, který musí proband splnit `<phase_target>0.8</phase_target>` (80 % z celkového rozsahu pohybu), kvalitu pohybu `<quality_threshold>0.5</quality_threshold>` (50 % kvalita pohybu dle algoritmu VR^[1]) a počet opakování `<repetitions>10</repetitions>` (celkem 10 opakování). V souboru *Tunnel-config.xml* je možné upravit "váhu" pro jednotlivé trackery v intervalu `<0,1>`. To znamená, na jaký tracker se bude virtuální realita více zaměřovat při hodnocení kvality daného pohybu. Parametrem *tunnelRadius* určíme poloměr tunelu pro výpočet kvality a parametrem *maxTunnelDistance* určíme maximální vzdálenost od tunelu. A v souboru *balls.xml* vidíme nadefinovaný počet míčků a jejich pozice na osách x, y, z podle nakonfigurování v programu *BallConfigurator*. Dále terapeut může definovat a určit zvuky, které uslyší proband na začátku cvičení, při špatně/správně provedeném cviku a na konci celé série ve složce *StreamingAssets/Audio*.

Obrázek č. 3 popisuje část vzorového kódu pro terapeutickou aplikaci. V horní části je v globálním nastavení zapsán tagy jazyk, šipka po míčkovou hru, model trackeru, zobrazování kostek v diagonále a nastavení židle. Dále je zde zapsána míčková hra se 4 balónky na pravou ruku. A cvičení spirála a I. diagonála pro pravou končetinu, se zobrazenou křivkou pro zápěstí, s 90 % rozsahem pohybu a kvalitou pohybu a počtem 5 opakování.

Obrázek č. 3: Ukázka části konfiguračního souboru

```
<exercises>
  <lang>czech</lang>
  <hide_hint_arrow>false</hide_hint_arrow>
  <data_processor>combined</data_processor>
  <tracker_model>Cube</tracker_model>
  <hide_cubes_in_tunnel>false</hide_cubes_in_tunnel>
  <hide_chair>false</hide_chair>

  <exercise type="game" id="ball_r">
    <name>fourballs</name>
  </exercise>

  <exercise type="movement" id="spiralA_right" hideChest="true" hideHead="true" hideHand="false" hideArm="true">
    <phase_target>0.9</phase_target>
    <quality_threshold>0.9</quality_threshold>
    <repetitions>5</repetitions>
  </exercise>

  <exercise type="movement" id="diag1_r" hideChest="true" hideHead="true" hideHand="false" hideArm="true">
    <phase_target>0.9</phase_target>
    <quality_threshold>0.9</quality_threshold>
    <repetitions>5</repetitions>
  </exercise>
</exercises>
```

Tabulka č. 1: Srovnání terapeutické aplikace pro první a druhou kohortu

Terapeutická aplikace	1. kohorta	2. kohorta
Virtuální scéna	Stonehenge	Stonehenge
Konfigurační prostředí	ano	ano
Záznam pohybu	ano	ano
Vyhodnocení pohybu	flekční vzorec	flekční a extenční vzorec
Přehrávání pohybu	ano	ano
Informační tabulka	vpravo od probanda	před probandem
Model trackeru	Elipsoid	krychle s popisem
Trackery pro obě končetiny	ne	ano
Informativní zvuky	ne	ano
Nastavení cílové fáze	ano	ano
Nastavení obtížnosti/kvality	ano	ano
Hra s míčky		
Barva modelu 3D ruky	fyziologická	fyziologická
Sbírání míčků	dlaní ruky	dlaní ruky
Počet míčků	4 a 6	6
Navádějící šipka k pozici míčku	ne	ano
Spirály		
Pravotočivá spirála	ne	ano
Levotočivá spirála	ne	ano
Barva modelu 3D paže	bez modelu	fyziologická
Nastavení průhlednosti paže	ne	ano
Úprava polohy paže	ne	ano
Diagonály		
I.diagonála	ano	ano
II.diagonála	ano	ano
III. diagonála	ano	ne
Nastavení viditelnosti křivek	ano	ano
Barva modelu 3D paže	fyziologická	fyziologická
Pohyb prstů paže	ne	ano
Nastavení průhlednosti paže	ne	ano
Úprava polohy paže	ano	ano
Nácvik vstávání		
Nastavení viditelnosti křivek	ano	ano
Nastavení průhlednosti paže	ne	ano
Barva modelu 3D paže	fyziologická	fyziologická
Nastavení viditelnosti křivek	ano	ano
Virtuální židle	ne	ano

3.3 Metodika

Tato práce je součástí projektu doc. PhDr. Kamily Řasové, Ph.D. *“Využití virtuální reality ve fyzioterapii na funkci horní končetiny u pacientů s roztroušenou sklerózou“*. Na její realizaci se podílel multidisciplinární tým ze dvou pracovišť. Experti Fakulty aplikovaných věd ZČU v Plzni^{[1][2][3]} pracovali na vývoji virtuálního prostředí na základě zpětné vazby kliniků (fyzioterapeutů a ergoterapeutů) z Kliniky rehabilitačního lékařství, FNKV a 3. LF UK v Praze.

V bakalářské práci jsem pracoval na vývoji optimalizovaného fyzioterapeutického programu ve virtuálním prostředí a ověřil jeho efekt na námi sledované parametry horní končetiny a rychlosti vstávání u pacientů s roztroušenou sklerózou mozkomíšní.

3.3.1 Výběr probandů

Studie byla schválena Etickou komisí Fakultní nemocnice Královské Vinohrady (EK-VP/01/0/2018), viz příloha č. 1. Všichni účastníci této studie byli seznámeni s obsahem studie a dobrovolně podepsali informovaný souhlas viz příloha č. 2 a 3.

Vstupní a vylučující kritéria

Kritériem pro přijetí byla diagnóza roztroušené sklerózy mozkomíšní a stanovení stavu invalidity na Kurtzkeho škále v rozpětí 2-7 EDSS (Expanded Disability Status Scale). Probandi museli vykazovat konstantní zdravotní stav v posledním měsíci bez relapsu a změn v medikaci. Věková hranice ani pohlaví nebyly limitujícím faktorem pro vstup do studie.

Mezi vylučující kritéria patřila závažná akutní onemocnění kardiovaskulárního a pohybového systému a snížené kognitivní funkce, které by narušovaly pochopení a absolvování terapeutického programu.

Vyšetření

Před zahájením terapeutického programu proběhlo vyšetření každého probanda, které obsahovalo odebrání základní anamnézy se zaměřením na neurologické postižení (podrobněji viz dále) a z podstoupení tří klinických testů na zhodnocení funkce horních končetin, měření posturálního třesu pomocí akcelerometru a jednoho testu hodnotícího rychlost vstávání. Následně vyplnili probandi dotazníky, zabývající se projevy a dopady neurologického onemocnění.

3.3.2 Průběh vyšetření

Na úvodním sezení byl proband seznámen s náplní studie a obsahem informovaného souhlasu (viz příloha č. 2 a 3), který podepsal. Případné otázky ze strany probanda byly zodpovězeny. Následně došlo k odebrání základní anamnézy (osobní, rodinná, sociální, pracovní, alergická, farmakologická a rehabilitační) a orientačnímu zjištění zdravotního stavu se zaměřením na dané onemocnění a neurologický deficit. Poté proběhlo samotné klinické testování sledovaných parametrů horních končetin (3 testy – Hand Grip, Nine-Hole Peg Test, Box and Block Test), rychlosti vstávání (Five Times Sit to Stand Test) a bylo provedeno měření posturálního třesu za pomoci akcelerometru.

Na závěr vyplnil proband dotazníky, sledující dopady a projevy RS na celkový zdravotní stav: Evropský dotazník zdraví-5 rozměrů-5 úrovní (EQ-5D-5L-health questionnaire) a Stupnice dopadu roztroušené sklerózy mozkomíšni (MSIS-29). Na závěrečném sezení absolvoval stejná klinická vyšetření, a kromě již zmíněných dotazníků vyplnil ještě dotazníky: Stupnice celkového hodnocení a dotazník týkající se virtuální reality. Celkový čas úvodního a závěrečného vyšetření trval cca 75 minut. Vstupní vyšetření první skupiny proběhlo v říjnu 2019, závěrečné poté v lednu 2020. Vstupní vyšetření druhé skupiny proběhlo v červnu 2020 a závěrečné v srpnu 2020.

3.3.3 Metody vyšetření

3.3.3.1 Anamnéza

U všech dobrovolníků byly zjištěny základní anamnestické údaje (věk, výška, váha, dominantnost horní končetiny) a další orientační informace týkající se osobní anamnézy (přidružená onemocnění, hospitalizace, vážnější úraz a případně operace). Dále pak rodinná anamnéza (onemocnění vyskytující se u rodičů), sociální a pracovní anamnéza (dopad nemoci na pracovní uplatnění) a předchozí rehabilitace. Vzhledem k tomu, že roztroušenou sklerózu řadíme mezi neurologická onemocnění, byli probandí dotazováni na neurologické obtíže a dysfunkce z důvodu získání komplexního přehledu o individuálních obtížích daného dobrovolníka. Dále byly zjištěny informace ohledně data diagnostikování daného onemocnění, prvních příznaků, typu RS a na škálu EDSS.

EDSS neboli rozšířená stupnice míry postižení, hodnotí pacienty na základě postižení sedmi systémů (funkce pyramidové, mozečkové, senzitivní, zrakové, mentální, funkce mozkového kmene a funkce sfinkterů).^[4] Případně potřebu užívat kompenzační pomůcky při chůzi (1 = ano, využívám trekové hole/berle, 0 = ne, kompenzační pomůcky nepotřebuji). Nakonec byli dobrovolníci dotázáni na subjektivní pocit zdraví (duševní a fyzický), dle vizuální analogové škály 0-10. Hodnota 0 je nejlepší možný stav a hodnotu 10 představuje nejhorší možný stav.

3.3.3.2 Klinická vyšetření

Vyšetření síly stisku ruky (Hand Grip) byl proveden přístrojem Jamar dynamometr (viz obrázek č. 6 v příloze č. 7).

Proband byl rovněž posazen na standardní židli, aby se úhel v kolenních a kyčelních kloubech blížil 90°. Paže byla nastavena do neutrální polohy u těla a pokrčena v lokti do 90° flexe, zápěstí v přirozené poloze palcem nahoru. Probandovi bylo vysvětleno, jak používat dynamometr.

Úchop dynamometru byl standardní tak aby se palec nacházel v opozici zbývajících prstů. Fyzioterapeut přidržel dynamometr a vyzval probanda, aby co nejsilněji stiskl.^[27] Síla stisku se vyšetřovala na pravé i levé ruce a byly provedeny tři pokusy. Výsledná síla stisku se následně zprůměrovala. Síla stisku se měřila v kilogramech.

Devítikolíkový test (Nine-Hole Peg Test) slouží k zjištění úrovně jemné motoriky horní končetiny (viz obrázek č. 7 v příloze č. 7).^[28] Test obsahuje desku s 9 dírkami a 11 kolíčky, které se jednotlivě přemísťují ze zásobníku do připravených dírek a následně zpět do zásobníku. Deska je umístěna na stole před probandem, zásobník s kolíčky na straně vyšetřované končetiny. Proband si může desku jistit nevyšetřovanou rukou. Následně je vyzván, aby co nejrychleji přemístil jednotlivě kolíčky ze zásobníku do připravených dírek a zpět. Čas je měřen od chvíle kdy proband zvedne první kolík a je ukončen ve chvíli, kdy vrátí poslední kolík do zásobníku. Na pořadí umístování kolíčků nezáleží. Měří se dva pokusy nejprve dominantní rukou a následně nedominantní rukou. Výsledný čas je průměrem obou pokusů v sekundách.^[28]

Box and Block Test hodnotí hrubou manuální motoriku HK (viz obrázek č. 8 v příloze č. 7). Test se skládá z krabice rozdělené přepážkou na dva oddíly. V jednom se nachází 150 kostek. Cílem testu je po dobu 60 sekund přehazovat kostky z jednoho oddílu do druhého. Proband sedí na židli čelem ke stolu, na kterém je umístěná testovací sada, oddíl s kostkami na straně dominantní ruky. Ruce má na stěnách krabice. Před začátkem testu je 15sekundový cvičný pokus. Po zahájení odpočtu přemístí svojí dominantní rukou kostku přes přepážku uprostřed krabice (více naráz přehozených kostek se počítá jako jedna) a v činnosti pokračuje do vypršení časového limitu (60 sekund). Poté terapeut spočítá počet přemístěných kostek. Testuje se nejprve dominantní ruka a následně nedominantní ruka a zaznamenává se počet řádně přemístěných kostek.^[29]

Test pěti vstávání (Five Times Sit to Stand Test) se používá k posouzení rovnováhy a svalové síly dolních končetin. Cílem probanda je pětkrát za sebou co nejrychleji vstát a opět se posadit na židli standardní výšky.

Proband se musí postavit do rovného stoje a při dosedu se musí hýžděmi dotknout židle, chodidla by měla být paralelně vedle sebe. V průběhu celého vyšetření by měl mít proband ruce zkřížené na prsou. Čas se zaznamenává v sekundách.^[30]

Měření posturálního třesu proběhlo za pomoci akcelerometru (viz obrázek č. 9 v příloze č. 7), který využívá čip MotionTracking sensor MPU-6050.^[27] „*Jedná se o tříosý akcelerometr a tříosý gyroskop se schopností měřit zrychlení až do ± 16 g (nastaven rozsah ± 2 g) a rotace až ± 2000 stupňů za vteřinu. Data byla získána vlastním zařízením pomocí mikrokontroléru Atmel Mega 328 a uložena na SD kartu.*“ (Horák, 2018, s. 35)

Měřil se třes horní končetiny. Na proximální článek ukazováčku se umístil detektor, v podobě akrylátového prstýnku.^[39] Proband stál vzpřímeně, testovanou paži měl předpaženou v úhlu 90° v ramenním kloubu, dlaní otočenou k zemi, s extendovanými a mírně abdukovanými prsty.^[27] Dobrovolník se mohl mírně rozkročit, aby zaujal polohu, ve které se cítil více stabilní. Posturální třes se měřil na dominantní a nedominantní končetině při zavřených a otevřených očích.^[27] Proběhla tedy čtyři měření v délce minimálně jedné minuty.

3.3.3.3 Dotazníky

Evropský dotazník zdraví - 5 rozměrů - 5 úrovní (EQ-5D-5L-health questionnaire) je standardizovaný dotazník, vytvořený skupinou EuroQol.^[31] Lze jej užít pro široké spektrum dotazovaných, včetně pacientů s RS. Poskytuje nám stručný popis sledovaných aspektů (mobility, sebeobsluhy, běžných denních činností, bolesti/obtíží a úzkosti/deprese) a úrovně závažnosti dysfunkce (žádné, drobné, mírné, vážné a extrémní obtíže).^[31] Dotazník obsahuje také škálu (visual analogue scale) v rozpětí 0 (nejhorší zdravotní stav) – 100 (nejlepší zdravotní stav), kde dotazovaný zhodnotí své zdraví.^[31] Dotazník je srozumitelný, jednoduchý a vyplnění trvá probandovi jen několik minut.

Stupnice dopadu roztroušené sklerózy mozkomíšní (MSIS-29) je standardizovaný dotazník, který mapuje dopad RS na probandův běžný život v průběhu posledních 14 dní.

Obsahuje 29 otázek, týkajících se fyzického (20 otázek) a psychického (9 otázek) stavu a vlivu RS na ostatní aktivity. Všechny otázky mají 5 možností odpovědí (vůbec, trochu, mírně, značně, velmi) a jsou bodově ohodnocené. Vyšší bodové hodnocení značí vyšší dopad onemocnění na probandův život.^[32]

Stupnice celkového hodnocení (pocit změny) je dotazník sloužící k srovnání efektu terapie z pohledu pacienta a terapeuta, převzatý z A 7-point Likert-type Global Rating of change Scale (GRS).^[40] Pacient i terapeut hodnotí aktuální stav a funkčnost paže-ruky se stavem před zahájením terapie. Odpověď má sedm možností (mnohem horší, horší, minimální zhoršení, žádná změna, minimální zlepšení, lepší a mnohem lepší).

Zkušenosti pacientů s virtuální realitou, jedná se o dotazník vytvořený k zhodnocení vnímání a interagování probandů s virtuálním prostředím. Zaměřuje se na grafické ztvárnění 3D paže, pohyb ve virtuálním prostředí a na detaily terapeutické jednotky (viz příloha č. 6).

3.3.4 Terapie

První skupina absolvovala 15 terapií v rozsahu cca 45 minut 1-2x týdně. Druhá skupina z důvodu pandemie COVID-19 absolvovala 10 terapií v rozsahu cca 45 minut 2-3x týdně, na aktualizované verzi virtuálního terapeutického programu.

3.3.4.1 Terapeutická sestava 1. kohorty

V úvodní části terapie byly dobrovolníkům vysvětleny principy metod PNF a MPAT a byl jim představen terapeutický program.

Vlastní terapeutická jednotka pak obsahovala navedení dobrovolníka do korigovaného sedu podle principu MPAT. V této pozici byl proband vychylován a stimulován k aktivování stabilizačního systému. Byl také kladen důraz na to, aby se do dané pozice zvládl sám nastavit a udržet ji i při provádění jednotlivých cvičení v rámci terapeutického programu ve virtuální realitě.

Probandovi byly zároveň představeny jednotlivé diagonály, které si s terapeutem zacvičil. Ke každému pacientovi se přistupovalo individuálně a byla snaha řešit dysbalance, které byly v průběhu terapie nalezeny.

Následně byly na pacienta umístěny trackery na předem stanovená místa a byl mu nasazen headset, zprostředkávající jednotlivá cvičení ve virtuální realitě.

Po spuštění aplikace byla nejprve provedena konfigurace, kdy si program na základě umístěných trackerů zjistil velikost aktuálního uživatele a přizpůsobil mu pozici a délku jednotlivých křivek.

Terapeutická aplikace začínala hrou s míčky. Proband sbíral dominantní rukou čtyři míčky rozmístěné kolem sebe v prostoru. Poté následovalo cvičení I. diagonály, II. a III. diagonály dominantní rukou v počtu 5-10 opakování (počet opakování se zvyšoval na základě pokroku v terapii). Před závěrečným cvičením čekala dobrovolníka opět hra s míčky, tentokrát bylo úkolem sebrat šest míček rozmístěných v odlišných pozicích. Závěrečné cvičení obsahovalo nácvik vstávání v počtu 2-5 opakování. Poté se celé cvičení opakovalo na nedominantní končetině.

V průběhu cvičení ve virtuální realitě terapeut probanda naváděl do správného provedení jednotlivých diagonál (viz obrázek č. 14 v příloze č. 7). Byly použity některé posilovací (technika opakované kontrakce, pomalý zvrát a pomalý zvrát – výdrž) a relaxační (technika výdrž – relaxace a technika pomalý zvrát – výdrž – relaxace) techniky z konceptu PNF. Využíval se odpor thera-bandu při provádění diagonál. A stimuly k aktivování korigovaného sedu.

Po absolvování 15 terapií proběhlo závěrečné vyšetření a na základě dotazníku: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou (viz Příloha č. 6) a získaných zkušeností došlo k vytvoření nové verze aplikace.

3.3.4.2 Terapeutická sestava 2. kohorty

Vlastní terapeutická jednotka se oproti předchozí skupině nezměnila, došlo jen k úpravě terapeutického programu, proto zde vynechám úvodní část terapie obsahující osvojení korigovaného sedu a PNF diagonál. Vždy se k probandovi přistupovalo individuálně vzhledem k jeho aktuálnímu fyzickému stavu.

Před zahájením cvičení ve virtuální realitě byly na pacienta za pomoci suchého zipu umístěny dva trackery na pravou a dva na levou končetinu (v místě úponu m. deltoideus a articulatio radiocarpalis) a zároveň si nasadil popruh s trackerem umístěným na hrudi (processus xiphoideus).

Po spuštění aplikace provedl program konfiguraci, v ní došlo k změření velikosti uživatele a úpravě pozic a délky jednotlivých diagonál.

Samotný terapeutický program začínal stejně jako předchozí verze, hrou s míčky. Proband měl za úkol sebrat dominantní rukou šest míček rozmístěných v jeho okolí za stálého udržení korigovaného sedu, poté se cvičení opakovalo s nedominantní rukou. Následovalo nové cvičení, obkružování spirály, nejprve s pravotočivým a následně levotočivým závitem, opět došlo k prostřídání končetin.

Následně obsahovalo cvičení I. diagonálu prováděnou dominantní končetinou v počtu 5-12 opakování, podle fyzických možností dobrovolníka. Po splnění úkolu plnil proband stejné zadání ale nedominantní paží. Stejně tak proběhlo i cvičení II. diagonály. Z důvodu špatného naprogramování III. diagonály se toto cvičení vynechávalo. Místo něho následovalo zopakování hry s míčky, kdy terapeut vychyloval dobrovolníka a nutil ho k aktivování stabilizačního systému. Závěrečným cvičením byl nácvik vstávání, opakovaný 2-5x pouze s navedením pravé horní končetiny.

V průběhu cvičební sestavy ve virtuálním prostředí zůstala zachována dopomoc terapeuta při navádění do správného provedení diagonál. Byly použity stejné posilovací a relaxační techniky z konceptu PNF jako u první skupiny (viz výše). Využíval se odpor thera-bandu při provádění diagonál. A stimuly k aktivování korigovaného sedu, případně byl dobrovolník posazen na částečně vypuštěný Overball, kvůli zvýšení náročnosti na stabilizační systém.

Po absolvování 10 terapií proběhlo závěrečné vyšetření a vyplnění dotazníku: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou (viz Příloha č. 6). Získané informace mohou být využity k budoucí optimalizaci aplikace.

Tabulka č. 2: Srovnání terapeutických cvičení pro první a druhou kohortu

Rehabilitační sestava 1 kohorty	Počet opakování	Rehabilitační sestava 2 kohorty	Počet opakování
Konfigurační nastavení		Konfigurační nastavení	
Míčková hra - DP	4 míčky	Míčková hra - DP	6 míčků
I.diagonála -DP	5-10	Míčková hra - NP	6 míčků
II.diagonála - DP	5-10	Pravotočivá spirála -DP	3-5
III.diagonála - DP	5-10	Pravotočivá spirála - NP	3-5
Míčková hra - DP	6 míčků	Levotočivá spirála - DP	3-5
Nácvik vstávání - DP	2-5	Levotočivá spirála - NP	3-5
Míčková hra - NP	4 míčky	I.diagonála - DP	5-12
I.diagonála -NP	5-10	I.diagonála - NP	5-12
II.diagonála - NP	5-10	II.diagonála - DP	5-12
III.diagonála - NP	5-10	II.diagonála - NP	5-12
Míčková hra - NP	6 míčků	Míčková hra - DP	6 míčků
Nácvik vstávání - NP	2-5	Míčková hra - NP	6 míčků
		Nácvik vstávání - PP	2-5

Legenda: DP – dominantní paže, NP – nedominantní paže

3.3.5 Zpracování a statistické vyhodnocení dat

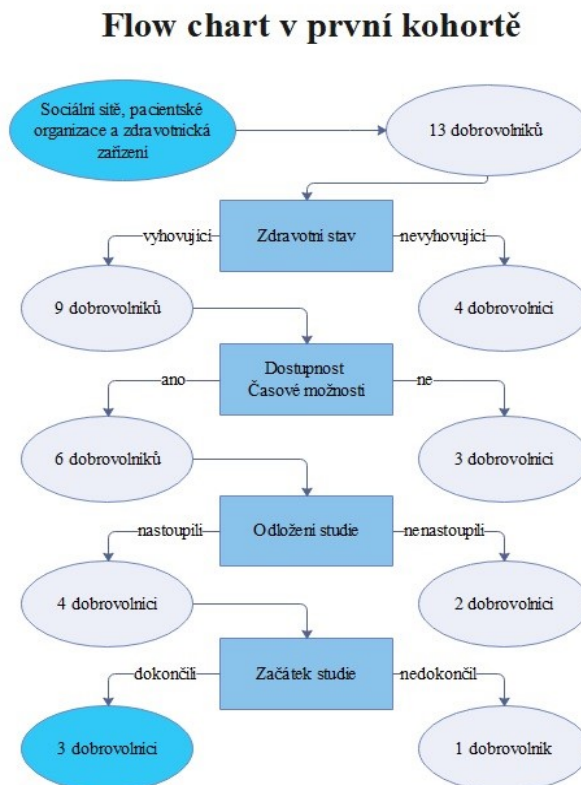
Základní anamnestické údaje a klinická vyšetření, včetně dotazníků byla zaznamenána a vyhodnocena v MS Excel. Data z akcelerometru vyhodnocoval v programu MatLab Ing. Jan Havlík, Ph.D. Byla použita vzorkovací frekvence v rozsahu 100 Hz.^[27] Celková akcelerace pohybu se spočetla na základě celkové velikosti vektoru pohybu, který se skládal ze tří hodnot (třiosý akcelerometr). K výpočtu celkového spektra se využila Fourierova transformace a vyhlazení signálu, pro přesnější výpočet.^[27] Následně se z grafu odečetla maximální frekvence f_{\max} . a k ní příslušná hodnota PSD_{\max} (Power Spectral Density) míra (výkon) třesu.

Ze všech naměřených dat (klinická vyšetření a posturální třes) byl vypočten průměr a směrodatná odchylka. Z důvodu malého rozsahu souboru se neověřovalo normální rozložení dat. Pouze byl použit jedno-výběrový, párový t-test k statistickému určení efektu terapie a porovnání první a druhé kohorty. Hladina významnosti byla ve všech testech stanovena 0,05.

3.4 Výsledky

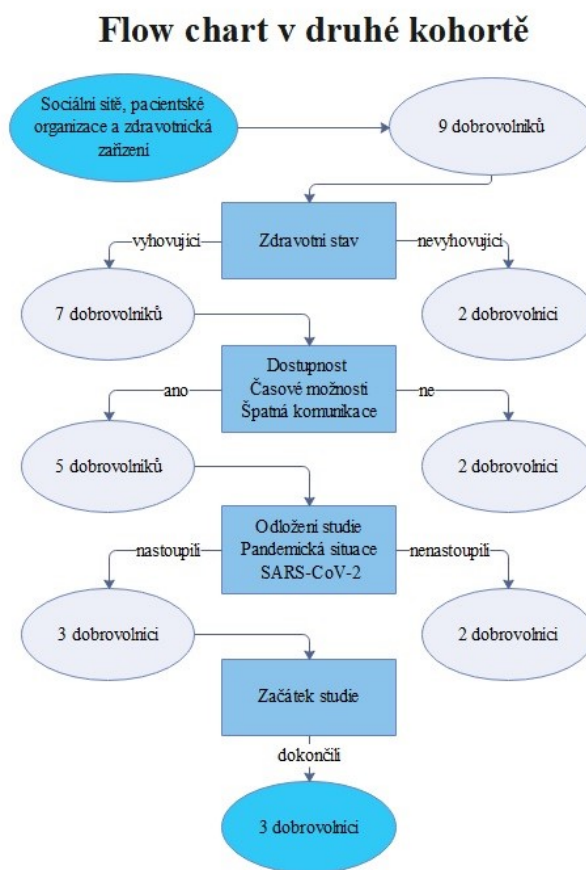
Na základě náborového letáku zveřejněného na sociálních sítích (Facebook), v patientských organizacích (Unie ROSKA, Sdružení mladých sklerotiků) a ve zdravotnických zařízeních, se do studie přihlásilo 13 dobrovolníků. Pro zhoršení zdravotního stavu, odstoupili od studie čtyři dobrovolníci. Dva dobrovolníci měli problém s dojížděním do Prahy, takže studii v počátku opustili. Kvůli prodlevám se zahájením studie, z důvodu optimalizování terapeutické aplikace odstoupili další dva dobrovolníci a kvůli nedostatku volného času odstoupil jeden dobrovolník. Do samotné studie nastoupili tedy pouze čtyři dobrovolníci splňující stanovená kritéria. V polovině terapií následně jeden dobrovolník studii ukončil z důvodu nastoupení na ambulantní terapii, neboť mu více vyhovovala (obrázek č. 4).

Obrázek č. 4: Flow chart v první kohortě



Do druhé skupiny se přihlásilo celkem 9 dobrovolníků. Z důvodu pandemie způsobené novým typem koronaviru SARS-CoV-2, došlo k odložení začátku studie a ke zkrácení terapeutické jednotky z 15 na 10 terapií. Kvůli změně zdravotního stavu ze studie odstoupili dva dobrovolníci, jeden dobrovolník nemohl dojet do Prahy. Dva dobrovolníci se ze studie omluvili z důvodu pandemické situace a jeden dobrovolník přestal komunikovat. Takže druhé části studie se zúčastnili 3 dobrovolníci (obrázek č. 5).

Obrázek č. 5: Flow chart v druhé kohortě



3.4.1 Charakteristika probandů s roztroušenou sklerózou

Studie se zúčastnilo celkem 6 osob (6 žen a 1 muž) s roztroušenou sklerózou mozkomíšní.

Průměrný věk probandů je 54 let. Čtyři účastníci studie označili pravou ruku jako dominantní, jeden účastník studie měl dominantní ruku levou a jeden byl přeúčený levák. Celkovou charakteristiku souboru lze vidět na tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: Základní charakteristika probandů

pořad. číslo	datum vyšetření	datum narození	věk	pohlaví	dominantnost	dominantnost ruky KOD	výška [m]	váha [kg]	BMI	kouření	alkohol
1. kohorta											
1 - vstupní	26.10.2019	1957	63	žena	levák	levák	1,61	63	24,3	0	1
1 - výstupní	13.02.2020	1957	63	žena	levák	levák	1,61	64	24,7	0	1
2 - vstupní	26.10.2019	1957	63	žena	pravák	pravá	1,68	70	24,8	0	1
2 - výstupní	11.02.2020	1957	63	žena	pravák	pravá	1,68	70	24,8	0	1
3 - vstupní	26.10.2019	1969	51	žena	pravák	pravák	1,69	63	22,1	1	1
3 - výstupní	13.02.2020	1969	51	žena	pravák	pravák	1,69	63	22,1	1	1
2. kohorta											
4 - vstupní	11.06.2020	1972	48	muž	pravák	levák	1,78	74	23,4	0	0
4 - výstupní	05.08.2020	1972	48	muž	pravák	levák	1,78	74	23,4	0	0
5 - vstupní	11.06.2020	1981	39	žena	pravák	pravák	1,64	53	19,7	0	0
5 - výstupní	06.08.2020	1981	39	žena	pravák	pravák	1,64	53	19,7	0	0
6 - vstupní	17.06.2020	1959	60	žena	pravák	pravák	1,65	58	21,3	0	1
6 - výstupní	06.08.2020	1959	60	žena	pravák	pravák	1,65	58	21,3	0	1

Legenda: vstupní – vstupní vyšetření, výstupní – výstupní vyšetření, m – metry, kg – kilogramy

3.4.2 Anamnestické údaje, charakteristika onemocnění a subjektivní pocit zdraví

U probandů byly odebrány základní anamnestické údaje včetně osobní, rodinné, sociální, pracovní anamnézy a předchozí rehabilitace. Na základě odebrané anamnézy bylo zjištěno, že v současnosti nekouří nikdo, ale jeden proband je bývalý kuřák. A 66,6 % probandů (4 subjekty) patří mezi příležitostné konzumenty alkoholu, 33,4 % jsou abstinenti (2 subjekty). Dále pak základní informace ohledně charakteristiky neurologického onemocnění: data prvních příznaků a diagnostikování RS, typu RS, škály EDSS a kompenzačních pomůcek potřebných pro chůzi. Včetně dotázání na subjektivní pocit zdraví (duševní a fyzický), dle vizuální analogové škály (VAS) 0-10, v den vyšetření a v průběhu posledních 5 dní viz tabulka č. 4.

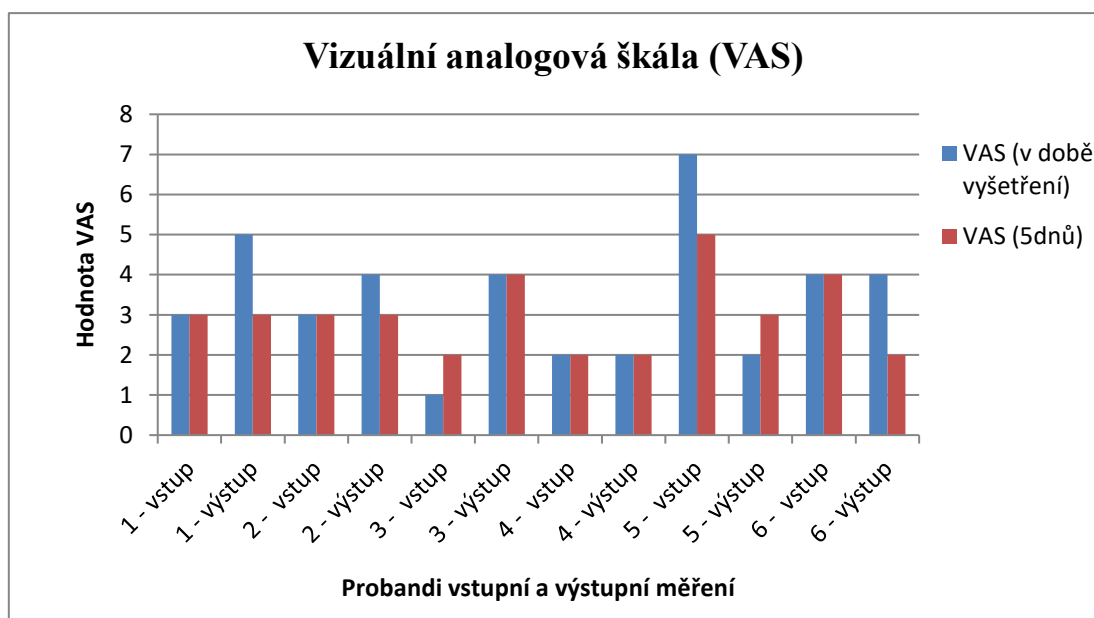
Tabulka č. 4: Základní charakteristika roztroušené sklerózy u probandů

pořad. číslo	Kdy dg RS?	1. symptom RS	Typ RS	pomůcka pro chůzi	EDSS	VAS	obvyklý stav (5dnů)
1.skupina							
1 - vstupní vyšetření	1997	1997	relaps remitentní	0	2,5	3	3
1 - výstupní vyšetření	1997	1997	relaps remitentní	0	2,5	5	3
2 - vstupní vyšetření	2004	2002	relaps remitentní	1	5,5	3	3
2 - výstupní vyšetření	2004	2002	relaps remitentní	1	5,5	4	3
3 - vstupní vyšetření	2014	2011	relaps remitentní	0	2	1	2
3 - výstupní vyšetření	2014	2011	relaps remitentní	0	2	4	3-4
2.skupina							
4 - vstupní vyšetření	2005	2002	relaps remitentní	0	3	2	2
4 - výstupní vyšetření	2005	2002	relaps remitentní	0	3	2	2
5 - vstupní vyšetření	2015	2015	relaps remitentní	0	2	7	5
5 - výstupní vyšetření	2015	2015	relaps remitentní	0	2	2	3
6 - vstupní vyšetření	1997	1987	relaps remitentní	1	5,5	4	4
6 - výstupní vyšetření	1997	1987	relaps remitentní	1	5,5	3-4	2

Legenda: RS – roztroušená skleróza, EDSS – Expanded Disability Status Scale (Kurtzkeho stupnice postižení), VAS – Vizuální analogová škála, Pomůcka pro chůzi: 0 =ne, 1=ano

U souboru probandů byla průměrná délka onemocnění (od doby diagnostiky) u první kohorty 15 let. U druhé kohorty pak po zaokrouhlení 14,3 let. První symptomy onemocnění se v průměru u první skupiny objevily po zaokrouhlení před 16,7 lety a u druhé skupiny po zaokrouhlení před 18,7 lety. V obou kohortách jsou probandi zasaženi relaps-remitentní formou RS. V první i druhé skupině využívá k chůzi trekové hole jeden proband, ostatní probandi nevyužívají žádné kompenzační pomůcky. Průměrná míra postižení se v první skupině pohybuje po zaokrouhlení 3,3 na škále EDSS a u druhé skupiny 3,5 na škále EDSS.

Graf č. 1: Hodnoty vizuální analogové škály u osob s roztroušenou sklerózou



Legenda: Vstup – vstupní měření, Výstup – výstupní měření, 1-6 – označení probandů

Na otázku ohledně subjektivního hodnocení zdraví v den vyšetření a v posledních pěti dnech odpovídali probandi za pomoci vizuální analogové škály (VAS). V první kohortě se na vstupním vyšetření cítili probandi dobře (VAS 3, 3, 1), proband 3 se cítil lépe než za posledních pět dní (VAS 2). V druhé kohortě se 5 proband necítil dobře (VAS 7), udával v době vyšetření zvýšenou únavu oproti posledním pěti dnům (VAS 5). Na výstupním vyšetření se proband 1 a 2 cítili hůře (VAS 5, 4) než za posledních pět dní (VAS 3, 3).

Proband 3 se cítil stejně jako v posledních pěti dnech (VAS 4) ale hůře než na vstupním vyšetření (VAS 1, 2). V druhé kohortě se proband 4 cítil dobře (VAS 2), stejně jako na vstupním vyšetření. U probanda 5, došlo ke zlepšení (VAS 2) oproti posledním pěti dní (VAS 3) a vstupnímu vyšetření (VAS 7,5). Proband číslo 6 se na výstupním vyšetření cítil hůře (VAS 4) než v posledních pěti dnech (VAS 2), ale stejně jako na vstupním vyšetření viz graf č. 1. U první kohorty se probandi v den výstupního vyšetření cítili na 95 % hladině významnosti statisticky ($p=0,037$) subjektivně hůře než na vstupním vyšetření. S přihlédnutím k posledním pěti dnům v průběhu vstupního a výstupního vyšetření toto nemůžeme statisticky potvrdit ($p=0,211$). Ale v grafu vidíme spíše konstantní stav v posledních dnech před vyšetřením (vstupní VAS - 3,3,2, výstupní VAS - 3,3,4). U druhé kohorty nemůžeme statisticky potvrdit změnu stavu v době vyšetření ($p=0,211$), ale až na probanda číslo 5 (zlepšení), pozorujeme konstantní stav v otázce subjektivního hodnocení zdraví. V posledních pěti dnech před vstupním a výstupním vyšetřením, pozorujeme trend ke zlepšení stavu ($p=0,092$).

Při celkovém zhodnocení obou kohort nemůžeme na 95 % hladině významnosti potvrdit statistické zlepšení nebo zhoršení v době vyšetření ($p=0,445$) ani v posledních pěti dnech ($p=0,305$).

3.4.3 Klinická vyšetření horní končetiny

V následujících tabulkách jsou zpracovány naměřená data jednotlivých klinických vyšetření horní končetiny: síla stisku (Hand Grip), jemné motoriky (Nine Hole Peg Test – 9HPT), hrubé motoriky (Box and Block Test – BBT) a vyšetření akcelerometrem. Z naměřených hodnot byly vypočteny aritmetické průměry a směrodatné odchylky. V tabulce č. 5 je zaznamenána síla stisku jednotlivých probandů, v tabulce č. 6 pak výsledky 9HPT, v tabulce č. 7 výsledky BBT testu. V tabulce č. 8 je zaznamenána největší frekvence třesu (f_{\max}) při otevřených očích a v tabulce č. 9 největší frekvence třesu (f_{\max}) při zavřených očích.^[39] V tabulce č. 10 je pro danou f_{\max} zaznamenána míra třesu (PSD_{\max}) při zrakové kontrole a v tabulce č. 11 bez zrakové kontroly. Celkový výčet jednotlivých měření se nachází v příloze č. 8.

Tabulka č. 5 Síla stisku probandů první a druhé kohorty

kohorta	proband	Hand grip [kg] PHK - vstup $\bar{x} \pm SD$	Hand grip [kg] PHK - výstup $\bar{x} \pm SD$	Hand grip [kg] srovnání	Hand grip [kg] LHK - vstup $\bar{x} \pm SD$	Hand grip [kg] LHK - výstup $\bar{x} \pm SD$	Hand grip [kg] srovnání
1	1	22,7 ± 2,3	22,3 ± 0,6	-0,4	22,7 ± 1,2	21,3 ± 2,3	-1,4
1	2	17,3 ± 1,2	18,7 ± 2,3	1,4	16 ± 2,0	20 ± 2,0	4
1	3	24 ± 2,0	26,7 ± 1,2	2,7	21,3 ± 1,2	25,3 ± 1,2	4
průměr kohorty		21,3 ± 3,6	22,6 ± 4,0	1,2	20 ± 3,5	22,2 ± 2,8	2,2
2	4	41,7 ± 2,5	56,3 ± 0,6	14,6	45,7 ± 4,9	57,7 ± 1,2	12
2	5	16,7 ± 6,4	20,7 ± 3,1	4,0	16,3 ± 0,6	20 ± 0,0	3,7
2	6	24 ± 2,0	26,3 ± 1,5	2,3	21,3 ± 1,2	23,3 ± 1,2	2
průměr kohorty		27,5 ± 12,9	34,4 ± 19,1	7,0	27,8 ± 15,7	33,7 ± 20,9	5,9

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, kg – kilogramy

V první kohortě došlo u probanda č. 1 ke snížení svalové síly na pravé horní končetině v průměru o 0,4 kg, na levé pak o 1,4 kg. U ostatních došlo naopak ke zvýšení svalové síly. U probanda č. 2 na pravé o 1,4 kg a na levé o 4 kg. U probanda č. 3 na pravé o 2,7 kg a na levé o 4 kg. V průměru pak došlo v první kohortě o zvýšení svalové síly na pravé končetině o 1,2 kg a na levé o 2,2 kg. Na 95 % hladině významnosti nemůžeme ovšem statisticky potvrdit nárůst svalové síly na pravé končetině ($p=0,152$) ani na levé končetině ($p=0,173$).

V druhé kohortě došlo ke zvýšení svalové síly u všech probandů. U probanda č. 4 na pravé končetině o 14,6 kg, na levé o 12 kg. U probanda č. 5 na pravé končetině o 4 kg na levé pak o 3,7 kg. U probanda č. 6 na pravé končetině o 2,3 kg a na levé o 2 kg. V průměru pak došlo ke zvýšení svalové síly u druhé kohorty na pravé končetině o 7 kg a na levé o 5,9 kg. Na 95 % hladině významnosti nemůžeme statisticky potvrdit nárůst svalové síly na pravé končetině ($p=0,106$) ani na levé končetině ($p=0,098$), i když je nárůst síly patrný. Při srovnání obou kohort na 95 % hladině významnosti můžeme potvrdit statistický nárůst svalové síly na levé končetině ($p=0,037$), na pravé končetině však nikoliv ($p=0,0596$).

Tabulka č. 6 Výsledky probandů v Nine-Hole Peg Testu v sekundách

kohorta	proband	9HPT [s] PHK - vstup - $\bar{x} \pm$ SD	9HPT [s] PHK - výstup - \bar{x} \pm SD	9HPT [s] srovnání	9HPT [s] LHK - vstup - $\bar{x} \pm$ SD	9HPT [s] LHK - výstup - \bar{x} \pm SD	9HPT [s] srovnání
1	1	18,1 \pm 0,7	18,8 \pm 0,1	0,7	18,6 \pm 0,8	19,3 \pm 0,9	0,7
1	2	26,9 \pm 3,8	30,7 \pm 3,0	3,8	24 \pm 1,8	23,1 \pm 1,7	-0,9
1	3	21,8 \pm 3,0	22,4 \pm 3,2	0,6	21,4 \pm 0,0	20,3 \pm 0,6	-1,1
průměr kohorty		22,3 \pm 4,4	24 \pm 6,1	1,7	21,3 \pm 2,7	20,9 \pm 2,0	-0,4
2	4	22,1 \pm 1,9	20,9 \pm 0,2	-1,2	23,4 \pm 1,7	24,8 \pm 1,3	1,4
2	5	22,7 \pm 1,8	18,2 \pm 1,7	-4,5	22,2 \pm 0,6	20,4 \pm 0,5	-1,8
2	6	25,2 \pm 1,2	22,1 \pm 0,1	-3,1	34,3 \pm 0,1	28,5 \pm 0,5	-5,8
průměr kohorty		23,3 \pm 1,6	20,4 \pm 2,0	-2,9	26,6 \pm 6,7	24,6 \pm 4,1	-2,1

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, s – sekundy

Při testování jemné motoriky za pomoci 9HPT došlo v první kohortě k nárůstu času u probanda č. 1 na pravé i levé končetině o 0,7 s. U probanda č. 2 došlo k nárůstu času na pravé končetině o 3,8 s, naopak na levé končetině došlo k zlepšení v průměru o 0,9 s. U probanda č. 3 došlo k nárůstu času na pravé končetině o 0,6 s, ale na levé končetině k zlepšení o 1,1 s. V průměru se první kohorta na pravé končetině zhoršila o 1,7 s a na levé končetině zlepšila o 1,1 s. Na 95 % hladině významnosti nemůžeme statisticky prokázat ($p=0,123$) zhoršení na pravé končetině, ani zlepšení ($p=0,263$) na končetině levé. I když je tento trend z aritmetického průměru patrný.

V druhé kohortě došlo u probanda č. 4 ke zlepšení na pravé končetině o 1,2 s, na levé pak ke zhoršení o 1,4 s. U probanda č. 5 došlo ke zlepšení na pravé končetině o 4,5 s a na levé o 1,8 s. U probanda č. 6 pozorujeme zlepšení na pravé končetině o 3,1 s a na levé o 5,8 s. V průměru došlo u druhé kohorty ke zlepšení na pravé končetině o 2,9 s a na levé o 5,8 s. Na 95 % hladině významnosti můžeme statisticky prokázat zlepšení na pravé končetině ($p=0,046$). Ale nemůžeme prokázat ani zlepšení na levé končetině ($p=0,213$). Při srovnání obou kohort nemůžeme prokázat statistické zlepšení na pravé ($p=0,317$) ani na levé ($p=0,140$) končetině na 95 % hladině významnosti.

Tabulka č. 7 Výsledky probandů v Box and Block Testu

kohorta	proband	BBT [počet] PHK - vstup $\bar{x} \pm$ SD	BNB [počet] PHK - výstup $\bar{x} \pm$ SD	BNB [počet] srovnání	BNB [počet] LHK - vstup $\bar{x} \pm$ SD	BNB [počet] LHK - výstup $\bar{x} \pm$ SD	BNB [počet] srovnání
1	1	68	74	6	64	72	8
1	2	46	48	2	53	58	5
1	3	60	64	4	60	66	6
průměr kohorty		58 ± 11,1	62 ± 13,1	4	59 ± 5,6	65,3 ± 7,0	6,3
2	4	57	64	7	64	61	-3
2	5	51	70	19	51	71	20
2	6	55	58	3	52	50	-2
průměr kohorty		54,3 ± 3,1	64 ± 6	9,7	55,7 ± 7,2	60,7 ± 10,5	5

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, počet – počet přemístěných kostek

V první kohortě došlo ke zlepšení u všech probandů. U probanda č. 1 došlo ke zlepšení na pravé končetině o 6 kostek, na levé pak o 8 kostek. U probanda č. 2 jsem zaznamenal zlepšení na pravé končetině o 2 kostky a na levé o 5 kostek. U probanda č. 3 došlo ke zlepšení na pravé končetině o 4 kostky a na levé o 6 kostek. V průměru došlo ke zlepšení v první kohortě na pravé končetině o 4 kostky a na levé končetině o 6,3 kostky. Na 95 % hladině významnosti, můžeme statisticky prokázat zlepšení na pravé ($p=0,037$) i levé ($p=0,009$) končetině.

V druhé kohortě došlo ke zlepšení u probanda č. 4 na pravé končetině o 7 kostek, ale k zhoršení na levé končetině o 3 kostky. U probanda č. 5, došlo k nárůstu počtu přehozených kostek na pravé končetině o 19 a na levé končetině o 20 kostek. U probanda č. 6 došlo k zlepšení na pravé končetině o 3 kostky, na levé pak ke zhoršení o 2 kostky. V průměru došlo u druhé kohorty ke zlepšení na pravé končetině o 9,7 kostky a na levé končetině o 5 kostek.

Na 95 % hladině významnosti, nemůžeme statisticky potvrdit zlepšení na pravé ($p=0,091$) ani na levé ($p=0,287$) končetině. Při srovnání obou kohort, můžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,022$), zlepšení na pravé končetině, ale zlepšení na levé končetině potvrdit nemůžeme ($p=0,078$).

Tabulka č. 8: Vyšetření třesu, otevřené oči, nejvyšší frekvence f_{\max}

kohorta	proband	f_{\max} [Hz] PHK - vstup	f_{\max} [Hz] PHK - výstup	srovnání f_{\max} [Hz]	f_{\max} [Hz] LHK - vstup	f_{\max} [Hz] LHK - výstup	srovnání f_{\max} [Hz]
1	1	2,34	1,56	-0,78	1,56	1,56	0
1	2	1,95	1,17	-0,78	1,17	1,95	0,78
1	3	1,56	1,17	-0,39	1,17	0,39	-0,78
\bar{x} a SD kohorty		$1,95 \pm$ $0,39$	$1,3 \pm 0,23$	-0,65	$1,3 \pm 0,23$	$1,3 \pm 0,81$	0
2	4	1,56	1,56	0	1,17	1,56	0,39
2	5	1,95	1,56	-0,39	1,95	1,17	-0,78
2	6	1,17	1,56	0,39	1,56	1,95	0,39
\bar{x} a SD kohorty		$1,56 \pm$ $0,39$	$1,56 \pm 0$	0	$1,56 \pm$ $0,39$	$1,56 \pm$ $0,39$	0

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, f_{\max} – nejvyšší frekvence, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Hz – hertz

Na základě dat pořízených z akcelerometru měla v průměru první kohorta při vstupním vyšetření f_{\max} 1,95 Hz a při výstupním f_{\max} 1,3 Hz, došlo tedy k průměrnému snížení frekvence o 0,65 Hz na pravé končetině při otevřených očích. Na 95 % hladině významnosti, můžeme statisticky prokázat ($p=0,019$) toto snížení f_{\max} . Na levé končetině byla průměrná f_{\max} při vstupním vyšetření 1,3 Hz a při výstupním 1,3 Hz, nedošlo tedy ke změně frekvence na levé končetině. Na 95 % hladině významnosti, nemůžeme statisticky prokázat ($p=0,5$) změnu f_{\max} , tudíž jsou dané frekvence stejné.

V druhé kohortě byla průměrná f_{\max} při vstupním a výstupním vyšetření shodná (f_{\max} 1,56 Hz), nedošlo tedy ke změně frekvence. Na 95 % hladině významnosti přijímáme H_0 ($p=0,5$), to znamená, že frekvence jsou stejné.

Na levé končetině u druhé kohorty nedošlo ke změně, vstupní i výstupní měření dosahuje hodnoty f_{\max} 1,56 Hz. Na 95 % hladině významnosti, přijímáme H_0 ($p=0,5$) tedy vstupní a výstupní f_{\max} jsou shodné.

Při srovnání výsledků z obou kohort, je průměrná f_{\max} na začátku terapie, na pravé končetině 1,76 Hz a výstupní 1,43 Hz. Došlo tedy v průměrně snížení f_{\max} o 0,33 Hz, které ovšem na 95 % hladině významnosti nemůžeme prokázat ($p=0,071$).

Na levé končetině je pak průměrná f_{\max} na začátku a na konci terapie 1,43 Hz. Na 95 % hladině významnosti přijímáme H_0 ($p=0,5$), tedy oba soubory jsou stejné a nedošlo ke změně f_{\max} .

Tabulka č. 9: Vyšetření třesu, zavřené oči, nejvyšší frekvence f_{\max}

kohorta	proband	f_{\max} [Hz] PHK - vstup	f_{\max} [Hz] PHK - výstup	srovnání f_{\max} [Hz]	f_{\max} [Hz] LHK - vstup	f_{\max} [Hz] LHK - výstup	srovnání f_{\max} [Hz]
1	1	1,56	1,56	0	1,56	1,56	0
1	2	1,17	1,17	0	1,17	1,17	0
1	3	1,17	1,17	0	1,95	1,56	-0,39
\bar{x} a SD kohorty		1,3 ± 0,23	1,3 ± 0,23	0	1,56 ± 0,39	1,43 ± 0,23	-0,13
2	4	1,56	1,56	0	2,34	2,34	0
2	5	1,95	1,56	-0,39	1,17	1,56	0,39
2	6	1,56	1,17	-0,39	2,34	1,17	-1,17
\bar{x} a SD kohorty		1,69 ± 0,23	1,43 ± 0,23	-0,26	1,95 ± 0,68	1,69 ± 0,60	-0,26

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, f_{\max} – nejvyšší frekvence, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Hz – hertz

Druhé měření probíhalo při zavřených očích. V první kohortě nebyl u probandů rozdíl ve vstupní a výstupní hodnotě f_{\max} na pravé končetině, tedy i průměrná f_{\max} o hodnotě 1,3 Hz byla při vstupním i výstupním měření shodná. Na levé končetině při zavřených očích, měla v průměru první kohorta na levé končetině vstupní f_{\max} 1,56 Hz a výstupní f_{\max} 1,43 Hz, došlo tedy k průměrnému snížení frekvence o 0,13 Hz. Které ale na 95 % hladině významnosti ($p=0,21$) nemůžeme statisticky potvrdit.

V druhé kohortě na pravé končetině došlo v průměru ke snížení o 0,26 Hz z f_{\max} 1,69 Hz na f_{\max} 1,43 Hz. Na 95 % hladině významnosti, však tuto změnu nemůžeme statisticky potvrdit ($p=0,09$). V průměru došlo ve druhé kohortě na levé končetině ke snížení f_{\max} o 0,26 Hz z 1,95 Hz na 1,69 Hz. Na 95 % hladině významnosti však tento pokles nemůžeme statisticky prokázat ($p=0,32$).

Při srovnání výsledků obou kohort, byla vstupní f_{\max} na pravé končetině 1,495 Hz a výstupní f_{\max} 1,365 Hz, došlo tedy ke snížení o 0,13 Hz. Toto snížení ale nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,087$).

Na levé končetině pak byla v průměru vstupní f_{\max} 1,755 Hz a výstupní 1,56 Hz, došlo ke snížení o 0,195 Hz. Opět ale toto snížení nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,21$).

Tabulka č. 10: Vyšetření třesu, otevřené oči, míra třesu [dB/Hz]

kohorta	proband	PSD _{max} [dB/Hz] PHK - vstup	PSD _{max} [dB/Hz] PHK - výstup	PSD _{max} [dB/Hz] srovnání	PSD _{max} [dB/Hz] LHK - vstup	PSD _{max} [dB/Hz] LHK - výstup	PSD _{max} [dB/Hz] srovnání
1	1	-55,3	-53,14	2,16	-47,62	-47,86	-0,24
1	2	-42,51	-43,02	-0,51	-48,37	-49,44	-1,07
1	3	-47,85	-50,45	-2,6	-48,44	-27,63	20,81
\bar{x} a SD kohorty		-48,5 ± 6,42	-48,87 ± 5,24	-0,37	-48,14 ± 0,45	-41,64 ± 12,16	6,5
2	4	-51,35	-48,12	3,23	-48,1	-47,45	0,65
2	5	-53,08	-55,74	-2,66	-50,18	-50,74	-0,56
2	6	-48,52	-47,62	0,9	-45,1	-41,75	3,35
\bar{x} a SD kohorty		-50,98 ± 2,30	-50,49 ± 4,55	0,49	-47,79 ± 2,55	-46,65 ± 4,55	1,14

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, PSD_{max} – Power Spectral Density, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, dB/Hz – decibel/hertz

Míra třesu PSD_{max} tabulka č. 10 při otevřených očích platí pro f_{\max} tabulka č. 8. V průměru byla u první kohorty vstupní míra třesu -48,5 dB/Hz a výstupní -48,87 dB/Hz, došlo tedy ke snížení o -0,37 dB/Hz, které nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,420$).

V průměru byla míra třesu na levé končetině při otevřených očích v první kohortě na vstupním vyšetření -48,14 dB/Hz a výstupní hodnota byla -41,64 dB/Hz, došlo tedy ke zvýšení o 6,5 dB/Hz, které nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,223$).

U druhé kohorty na pravé končetině došlo ke zvýšení o 0,49 dB/Hz ze vstupní hodnoty míry třesu -50,98 dB/Hz na -50,49 dB/Hz, to ovšem nemůžeme statisticky potvrdit ($p=0,400$) na 95 % hladině významnosti. Na levé končetině došlo v průměru u druhé kohorty ke zvýšení o 1,14 dB/Hz z -47,79 dB/Hz na -46,65 dB/Hz. Při srovnání obou kohort byla vstupní hodnota pro pravou končetinu při otevřených očích v průměru PSD_{max} -49,74 dB/Hz a výstupní hodnota -49,68 dB/Hz, došlo tedy k průměrnému zvýšení míry třesu o 0,06 dB/Hz, které nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,467$).

Pro levou končetinu při otevřených očích byla průměrná hodnota PSD_{max} -47,965 dB/Hz a výstupní hodnota -44,145 dB/Hz, došlo tedy k průměrnému zvýšení o 3,82 dB/Hz, které nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,160$).

Tabulka č. 11: Vyšetření třesu, zavřené oči, míra třesu [dB/Hz]

kohorta	proband	PSD_{max} [dB/Hz] PHK - vstup	PSD_{max} [dB/Hz] PHK - výstup	PSD_{max} [dB/Hz] srovnání	PSD_{max} [dB/Hz] LHK - vstup	PSD_{max} [dB/Hz] LHK - výstup	PSD_{max} [dB/Hz] srovnání
1	1	-53,65	-53,14	0,51	-52,11	-49,37	2,74
1	2	-44,42	-38,87	5,55	-48,65	-42,61	6,04
1	3	-54,8	-41,88	12,92	-41,19	-45,78	-4,59
\bar{x} a SD kohorty		-50,96 ± 5,69	-44,63 ± 7,52	6,33	-47,32 ± 5,58	-45,92 ± 3,38	1,4
2	4	-50,51	-49,3	1,21	-49,42	-50,6	-1,18
2	5	-55,03	-54,14	0,89	-52,82	-56,57	-3,75
2	6	-47	-50,27	-3,27	-47,7	-44,11	3,59
\bar{x} a SD kohorty		-50,85 ± 4,03	-51,24 ± 2,56	-0,39	-49,98 ± 2,61	-50,43 ± 6,23	-0,45

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, PSD_{max} - Power Spectral Density, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, dB/Hz – decibel/hertz

Míra třesu PSD_{max} tabulka č. 11 při zavřených očích platí pro f_{max} z tabulky č. 9. V průměru měla první kohorta na pravé končetině vstupní míru třesu -50,96 dB/Hz a výstupní míru třesu v hodnotě -44,63 dB/Hz, došlo tedy ke zvýšení o 6,33 dB/Hz, které ovšem nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,111$). Na levé končetině pak měla první kohorta při vstupním vyšetření hodnotu -47,32 dB/Hz a výstupní -45,92 dB/Hz, došlo tedy ke zvýšení o 1,4 dB/Hz, které se na 95 % hladině významnosti statisticky nepotvrdilo ($p=0,350$).

Druhá kohorta měla v průměru na pravé končetině vstupní hodnotu PSD_{max} -50,85 dB/Hz a výstupní -51,24 dB/Hz, došlo tedy ke snížení o -0,39 dB/Hz, které se ovšem na 95 % hladině významnosti statisticky nepotvrdilo ($p=0,406$). Na levé končetině pak měla druhá kohorta při zavřených očích vstupní hodnotu PSD_{max} -49,98 dB/Hz a výstupní hodnotu -50,43 dB/Hz, došlo tedy k průměrnému snížení o -0,45 dB/Hz, které na 95 % hladině významnosti nemůžeme statisticky potvrdit ($p=0,427$).

Při srovnání obou kohort byla vstupní hodnota pro pravou končetinu při zavřených očích v průměru PSD_{max} -50,905 dB/Hz a výstupní hodnota -47,935 dB/Hz, došlo tedy k průměrnému zvýšení o 2,97 dB/Hz, které nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,126$). Pro levou končetinu při zavřených očích byla průměrná hodnota PSD_{max} -48,65 dB/Hz a výstupní hodnota -48,175 dB/Hz, došlo tedy k průměrnému zvýšení o 0,475 dB/Hz, které nemůžeme na 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,399$).

3.4.4 Klinické vyšetření rychlosti vstávání

V následující tabulce č. 12 jsou naměřená data Five times Sit to Stand Testu (5STS), který se používá k posouzení rovnováhy a svalové síly dolních končetin. Z naměřených časů se vypočetl aritmetický průměr kohorty a určila směrodatná odchylka.

Tabulka č. 12: Five times Sit to Stand Test

kohorta	proband	5STS [s] - vstup	5STS [s] - výstup	5STS [s] srovnání
1	1	9,9	7,4	-2,5
1	2	13,7	12,3	-1,4
1	3	10,9	10,1	-0,8
průměr kohorty		11,5 ± 2,0	9,9 ± 2,5	-1,6
2	4	4,8	4,8	0
2	5	9,9	6,5	-3,4
2	6	10,5	8,9	-1,6
průměr kohorty		8,4 ± 3,1	6,7 ± 2,1	-1,7

Legenda: vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, s – sekundy

V první kohortě došlo ke zvýšení rychlosti vstávání u všech probandů. Proband č. 1 se zlepšil o 2,5 s. Proband č. 2 se zlepšil o 1,4 s a proband č. 3 se zlepšil o 0,8 s. V průměru se první kohorta zlepšila o 1,6 s. Na 95 % hladině významnosti můžeme statisticky prokázat ($p=0,044$) zkrácení času pro 5STS v první kohortě. V druhé kohortě došlo ke zvýšení rychlosti vstávání u dvou probandů, probanda č. 5 o 3,4 s a probanda č. 6 o 1,6 s. Proband č. 4 dosahoval stejného výsledku při vstupním i výstupním měření.

V průměru došlo v druhé kohortě ke zlepšení o 1,7 s. Na 95 % hladině významnosti nemůžeme prokázat statistické zlepšení ($p=0,116$) v rychlosti vstávání u druhé kohorty. Při srovnání obou kohort na 95 % hladině významnosti, můžeme prokázat statistické zlepšení ($p=0,011$) v rychlosti vstávání.

3.4.5 Dotazníky

V následující části jsou rozpracovány dotazníky hodnotící dopad roztroušené sklerózy (MSIS-29) tabulka č. 13, závažnost dysfunkcí způsobených RS (EQ-5D-5L-health questionnaire) tabulka č. 14 1. a 2. část, efektu terapie: Stupnice celkového hodnocení – GRS tabulka č. 15 a Dotazník: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou tabulka č. 16.

Tabulka č. 13: Dotazník: Stupnice dopadu roztroušené sklerózy MSIS-29

proband	MSIS-29 skóre - vstup	MSIS-29 skóre - výstup	MSIS-29 srovnání
1	58	48	-10
2	69	55	-14
3	37	37	0
	54,7 ± 16,3	46,7 ± 9,1	-8
4	42	35	-7
5	83	85	2
6	62	54	-8
	62,3 ± 20,5	58 ± 25,2	-4,3

Legenda: vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka

V první kohortě na základě odpovědí probandů došlo ke zmírnění dopadu RS v posledních 14 dnech u probanda č. 1 z 58 bodů na 48 bodů (zlepšení o 10 bodů) a probanda č. 2 z 69 bodů na 55 bodů (zlepšení o 14 bodů). U probanda č. 3 nedošlo ke změně stavu. V průměru došlo v první kohortě ke zmírnění dopadu RS na každodenní život o 8 bodů (z 54,7 na 46,7 bodů). Na základě t-testu nemůžeme potvrdit statisticky významné zlepšení ($p=0,097$) při hladině významnosti 95 % procent.

V druhé kohortě došlo ke zlepšení u probanda č. 4 ze 42 bodů na 35 (zlepšení o 7 bodů) a u probanda č. 6 z 62 bodů na 54 (zlepšení o 8 bodů). U probanda č. 5 došlo k zhoršení dopadu RS na každodenní život z 83 bodů na 85 bodů (zhoršení o 2 body).

V průměru jsem zaznamenal u druhé kohorty zlepšení o 4,3 body (z 62,3 na 58 bodů). Na 95 % hladině významnosti nemůžeme statisticky potvrdit zlepšení ($p=0,153$) u druhé kohorty.

U obou kohort ale můžeme při 95 % hladině významnosti statisticky potvrdit ($p=0,028$) zmírnění dopadu RS.

Tabulka č. 14: Evropský dotazník zdraví – 5 rozměrů – 5 úrovní, 1. část

kohorta	proband	EQ-5D-5L [mobilita] vstup	EQ-5D-5L [mobilita] výstup	EQ-5D-5L [sebeobsluha] vstup	EQ-5D-5L [sebeobsluha] výstup	EQ-5D-5L [ADL] vstup	EQ-5D-5L [ADL] výstup
1	1	drobné problémy	žádné problémy	mírné problémy	drobné problémy	drobné problémy	drobné problémy
1	2	mírné problémy	mírné problémy	žádné problémy	žádné problémy	drobné problémy	nemám problémy
1	3	žádné problémy	žádné problémy	žádné problémy	žádné problémy	nemám problémy	nemám problémy
\bar{x} a SD kohorty							
2	4	žádné problémy	žádné problémy	žádné problémy	žádné problémy	nemám problémy	nemám problémy
2	5	mírné problémy	drobné problémy	žádné problémy	žádné problémy	drobné problémy	drobné problémy
2	6	mírné problémy	mírné problémy	drobné problémy	žádné problémy	mírné problémy	drobné problémy
\bar{x} a SD kohorty							

Legenda: vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka

Tabulka č. 14: Evropský dotazník zdraví – 5 rozměrů – 5 úrovní, 2. část

kohorta	proband	EQ-5D-5L [bolest, nepříjemný pocit] vstup	EQ-5D-5L [bolest, nepříjemný pocit] výstup	EQ-5D-5L [úzkost / deprese] vstup	EQ-5D-5L [úzkost / deprese] výstup	EQ-5D-5L [škála zdraví] vstup	EQ-5D-5L [škála zdraví] výstup
1	1	mírnou bolest	žádnou bolest	trochu depresivní	trochu depresivní	70	80
1	2	mírnou bolest	drobnou bolest	trochu depresivní	mírně depresivní	75	85
1	3	drobnou bolest	žádnou bolest	žádnou depresi	žádnou depresi	85	75
\bar{x} a SD kohorty						76,7 ± 7,6	80 ± 5
2	4	drobná bolest	žádnou bolest	trochu depresivní	žádnou depresi	71	71
2	5	drobná bolest	mírná bolest	mírné deprese	trochu depresivní	60	70
2	6	mírná bolest	mírná bolest	trochu depresivní	trochu depresivní	82	87
\bar{x} a SD kohorty						71 ± 11	76 ± 9,5

Legenda: vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření, \bar{x} – aritmetický průměr, ADL – běžné denní činnosti, SD – směrodatná odchylka, modrá – zlepšení, oranžová – zhoršení

Na základě vyplnění dotazníku – 5 rozměrů - 5 úrovní došlo v první kohortě u probanda č. 1 ke zlepšení mobility (z drobných problémů na žádné), sebeobsluhy (z mírné na drobné problémy), bolesti a nepříjemných pocitů (z mírných na žádné). Zvládání běžných denních činností a úzkosti spolu s depresí nedošlo ke změně (drobné problémy a trochu depresivní).

Druhý proband nemá konstantně problémy se sebeobsluhou, s chůzí má konstantně mírné problémy. Zlepšení se dostavilo v oblasti zvládání běžných denních činností (z drobných na žádné), v oblasti bolesti a nepříjemných pocitů (z mírné na drobnou). Naopak v depresi a úzkosti došlo ke zhoršení z trochu na mírně.

U třetího probanda byla chůze beze změny, stejně tak sebeobsluha, zvládání běžných denních činností a úzkost a deprese (žádné problémy). Zlepšení bylo v oblasti bolest a nepříjemné pocity z drobných na žádné.

Až na zhoršení v oblasti deprese a úzkosti u druhého probanda nedošlo v první kohortě ke zhoršení. Z odpovědí můžeme vyčíst snížení obtíží v sledovaných aspektech, nebo konstantní přetrvávání mírného až drobného rázu obtíží.

V druhé kohortě probanda č. 4 nemá žádné obtíže při chůzi, sebeobsluze a při zvládání běžných denních činností. Došlo ke zlepšení v aspektech bolesti a nepříjemné pocity (z drobných na žádné) a v oblasti úzkosti a deprese (z trochu na žádnou).

Proband č. 5 nemá žádné problémy se sebeobsluhou, drobné problémy má konstantně se zvládáním běžných denních činností. Zlepšení vykazuje v oblasti chůze (z mírných na drobné) a v oblasti úzkosti a deprese (mírných na trochu). Naopak v oblasti bolesti a nepříjemných pocitů došlo ke zhoršení (drobné na mírnou).

Proband č. 6 má konstantní obtíže v oblasti chůze, bolesti a nepříjemných pocitů a úzkosti, deprese (mírné). Zlepšení zaznamenala oblast sebeobsluhy (drobné na žádné) a zvládání běžných denních činností (mírných na drobné).

V druhé kohortě došlo ke zhoršení u probanda č. 5 v oblasti bolesti a nepříjemných pocitů (z drobné na mírnou). V ostatních aspektech došlo ke zlepšení anebo přetrvávání drobných až mírných obtíží.

Součástí dotazníku je také škála zdraví v rozmezí 0 (nejhorší zdraví) až 100 (nejlepší zdraví). V první kohortě došlo ke zlepšení u probanda č. 1 o 10 bodů (ze 70 na 80 bodů), u probanda č. 2 o 10 bodů (ze 75 na 85 bodů) a u probanda č. 3 došlo ke zhoršení o 10 bodů (z 85 na 75 bodů). V průměru došlo v první kohortě ke zlepšení o 3,3 bodu (ze 76,7 na 80 bodů). Na 95 % hladině významnosti nemůžeme potvrdit statistické zlepšení ($p=0,333$) v první kohortě.

V druhé kohortě u probanda č. 4 nedošlo ke změně stavu (71 bodů), u probanda č. 5 došlo ke zlepšení o 10 bodů (z 60 na 70 bodů) a u probanda č. 6 ke zlepšení o 5 bodů (z 82 na 87 bodů). V průměru došlo v druhé kohortě ke zlepšení o 5 bodů (z 82 na 87 bodů).

Na 95 % hladině významnosti nemůžeme potvrdit statistické zlepšení ($p=0,113$) v druhé kohortě. Při porovnání obou kohort na 95 % hladině významnosti, nemůžeme statisticky potvrdit ($p=0,129$) významnou změnu ve stavu pacientů.

Tabulka č. 15: Stupnice celkového hodnocení (pocit změn) pacient/terapeut

Kohorta	proband	proband	terapeut	zhodnocení
1	1	minimální zlepšení	minimální zlepšení	0
1	2	lepší	minimální zlepšení	-1
1	3	minimální zlepšení	žádná změna	-1
2	4	minimální zlepšení	minimální zlepšení	0
2	5	minimální zlepšení	žádná změna	-1
2	6	minimální zlepšení	minimální zlepšení	0

Legenda: 0 – stejné hodnocení, -1 – terapeut hodnotí efekt horší než proband

Na základě dotazníku Stupnice celkového hodnocení (pocit změn), došlo ke srovnání efektu terapie z pohledu probanda a terapeuta na funkci paže/ruky. V první kohortě, proband č. 1 i terapeut zhodnotili celkovou funkci ruky minimálním zlepšením. Proband č. 2 zhodnotil funkci paže lepší, terapeut se naopak přiklonil k minimálnímu zlepšení. Proband č. 3 zhodnotil funkci ruky minimálním zlepšením, terapeut nezaznamenal žádnou změnu. Z hlediska zhodnocení funkce ruky v první kohortě měl terapeut tendenci snižovat efekt terapie oproti probandům. V druhé kohortě se proband č. 4 a terapeut shodli na minimálním zlepšení. Proband č. 5 hodnotil funkci ruky minimálním zlepšením, terapeut nezaznamenal žádnou změnu. Proband č. 6 hodnotil funkci ruky s minimálním zlepšením, stejně tak terapeut. Z hlediska celkového hodnocení, má terapeut v polovině případů tendenci podhodnocovat efekt terapie oproti probandům.

Tabulka č. 16: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou

Otázka	1. kohorta		2. kohorta	
	kladná	záporná	kladná	záporná
1) Prostředí (Stonehenge) virtuální reality mě nerušilo/rušilo v průběhu terapie.	3	0	3	0
2) Pohyb ve virtuální realitě jsem vnímal jako plynulý/sekaný .	2	1	1	2
3) Virtuální paže na mě působila reálně/nereálně .	1	2	1	2
4) Virtuální paže se pohybovala přirozeně/nepřirozeně .	0	3	1	2
5) Virtuální paže mi v počátcích terapie pomáhala/nepomáhala naučit se správně provést diagonály	2	1	2	1
6) Virtuální paže mě v pozdějších fázích terapie nerozptylovala/rozptylovala .	2	1	0	3
7) Virtuální paže mně při diagonálách pomáhala/překážela .	3	0	0	3
8) Návčik vstávání byl pro mě snazší při vedení terapeutem/virtuální realitou .	3	0	3	0
9) Při návčiku vstávání ve virtuální realitě by mi pomohla/nepomohla přítomnost židle při dosedání.	3	0	2	1
10) Terapii za pomoci virtuální reality bych osobně zhodnotil/a kladně/záporně .	2	1	3	0
11) Pokud bych měl/a možnost samostatně provádět dodatečná rehabilitační cvičení ve virtuální realitě v domácím prostředí, pak bych jí využil/a/nevyužil/a .	2	1	2	1
12) Co spatřujete jako největší problém současného řešení rehabilitace ve virtuální realitě? <i>Krátce odpovězte</i>				

Na závěr probandi vyplňovali námi sestavený dotazník, týkající se zkušeností s fyzioterapeutickou aplikací. Cílem tohoto dotazníku bylo zjistit, zda se náš vývoj ubírá správným směrem, a na které subjektivní nedostatky bychom se měli v budoucnu zaměřit.

Virtuální scénu tvořilo prostředí Stonehenge, které všichni probandi první a druhé kohorty hodnotili kladně. Nikdo neměl pocit, že by ho prostředí rozptylovalo od plnění jednotlivých úkolů.

Model 3D paže hodnotili 2 probandi v první kohortě kladně a 1 záporně, stejně tak probandi v druhé kohortě, přestože došlo k úpravě grafiky 3D modelu paže.

Samotný pohyb ve virtuálním prostředí hodnotili 2 probandi z první kohorty kladně, naproti tomu 2 probandi z druhé kohorty uváděli, že pohyb ve virtuálním prostředí je sekáný. Všichni probandi z první kohorty a 2 probandi z druhé kohorty uvedli, že pohyb 3D modelu paže je nepřírozený, přestože došlo k úpravě algoritmu pro pohyb virtuální paže a zpřesnění jednotlivých diagonál.

Další část dotazníku se zaměřovala na zobrazení modelu 3D paže při diagonálách (první kohorta) a při diagonálách a spirálách (druhá kohorta). Obě kohorty se shodly na tom, že jim virtuální paže v počátcích terapie pomáhala naučit se provádět diagonály (2 respondenti), pouze jeden proband z každé kohorty uvedl, že mu virtuální paže nepomáhala v naučení se diagonál. Naproti tomu v pozdějších fázích terapie virtuální paže 2 probandy v první kohortě nerozptylovala od provádění diagonál, ale v druhé kohortě rozptylovala všechny respondenty. V první kohortě uvedli všichni respondenti, že jim model 3D paže pomáhal při terapii, ale v druhé kohortě uvedli všichni respondenti, že jim 3D model překážel a proto využívali možnost skrýt virtuální paži v průběhu terapie.

Všichni probandi v obou kohortách odpověděli, že nácvik vstávání byl pro ně snazší při vedení terapeutem, a ne za pomoci aplikace. Všichni respondenti z první kohorty by ocenili při nácviku vstávání model virtuální židle v pozici reálné židle, která v první verzi nebyla. V druhé kohortě ocenili model židle při nácviku vstávání 2 probandi, jednomu probandovi model virtuální židle nevyhovoval.

Terapii s využitím virtuální reality hodnotilo 5 respondentů kladně (2 z první kohorty a 3 z druhé kohorty), jeden respondent z první kohorty by terapii ohodnotil záporně. 2 respondenti z první a druhé kohorty by naši terapeutickou aplikaci využili v domácím prostředí, pokud by měli možnost a 1 proband z každé kohorty by tuto možnost nevyužil.

Poslední otázka se týkala subjektivního názoru na aktuálně největší problém ohledně rehabilitace ve virtuální realitě. V první kohortě 2 respondenti uvedli, že v terapeutickém programu nespatřují žádný významný problém, pouze by program rozšířili. Jeden proband uvedl, že terapeutický program nedokáže přesně řídit pohyb 3D modelu paže.

V druhé kohortě jeden respondent nespatořoval v našem programu žádný závažný nedostatek, ale dva probandi uvedli, že terapeutická aplikace není dotažena do optimálního stavu (nepřesný pohyb virtuální paže a nedokonalé grafické zpracování).

3.5 Diskuse

V současné době nabízí fyzioterapie pacientům velké množství terapií s nejrůznějšími sofistikovanými přístroji a s rozvojem technologií se do popředí dostává virtuální realita a její komplexní vliv na posturální, rovnovážný, optický, sluchový a limbický systém. Pořizovací cena těchto terapeutických přístrojů je ale vysoká a běžně dostupné hry pro virtuální realitu neposkytují pacientům terapeutický efekt se zpětnou vazbou o vykonávaném pohybu. Proto bylo naším cílem vytvořit terapeutický program ve virtuální realitě využívající cenově dostupné platformy HTC Vive, která poskytuje kvalitní záznam a sledování pohybu.^[2] A ověřit jeho efekt na funkčnost horních končetin, zlepšení stability sedu a kvality vstávání u nemocných s roztroušenou sklerózou mozkomíšni. Přínosem této studie je tedy terapeutická aplikace, která využívá principů PNF a MPAT a je schopná poskytovat pacientům zpětnou vazbu o prováděném pohybu. V průběhu studie jsme danou aplikaci optimalizovali na základě klinických zkušeností a zpětné vazby poskytnuté dobrovolníky v dotazníku: Zkušenosti s virtuální realitou.

Preklinická fáze vývoje terapeutická aplikace probíhala od května do září 2019, kdy se k návrhu terapeutického programu mohli vyjádřit kolegové z oboru, ergoterapeuti z Kliniky rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze a pacienti hospitalizovaní na Klinice rehabilitačního lékařství, FNKV v Praze viz kapitola 3.2.2. Všechny připomínky byly zváženy a na jejich základě proběhlo optimalizování terapeutické aplikace viz kapitola 3.2.3, následně proběhlo klinické testování na první kohortě. S přihlédnutím ke klinickým zkušenostem a odpovědím v dotazníku, kde většina respondentů negativně hodnotila vzhled a pohyb virtuální paže, jsme se rozhodli 3D model paže předělat, upravit trajektorie jednotlivých

diagonál, aby odpovídaly našim požadavkům na správný pohybový stereotyp a použít nový algoritmus pro vyhodnocování pohybu.^{[2][3]}

Rozšířenou a optimalizovanou verzi viz kapitola 3.2.4 jsme otestovali na druhé kohortě. Z důvodu pandemické situace došlo ke zkrácení počtu terapií z 15 na 10, zároveň se nám nepodařilo implementovat opravenou III. diagonálu, proto se v terapeutické aplikaci opakovala 2x hra s míčky. Po ukončení všech terapií v druhé kohortě jsme následně vyhodnotili výsledky dotazníku a naše získané zkušenosti. Přestože virtuální model paže byl v druhé verzi propracovanější a vykonával přirozenější pohyby nejen v lokti a zápěstí, ale i pohyb prstů, tak jej většina probandů hodnotila negativně. Využívali možnosti nová verze, která nabízela skrytí modelu paže a korigování pohybu po diagonále jen pomocí trackerů, které se zobrazovali ve formě krychle. V souhrnu hodnotila druhá kohorta optimalizovanou terapeutickou aplikaci více negativně než kohorta první, přestože aplikace byla z našeho hlediska lépe optimalizovaná než verze předchozí. Tento výsledek dotazníku nemusí být dán špatným směrem vývoje, ale může záviset na tom, že průměrný věk první kohorty byl 59 let, kdežto druhé 49 let. A probandi z druhé kohorty na základě větších zkušeností s virtuální realitou, případně animacemi, měli od naší aplikace vyšší očekávání než probandi kohorty první. Jsme si samozřejmě vědomi grafických limitů, které zatím neumožňují na této platformě vytvořit autentický obraz pacientovi paže, ale je jen otázkou několika let, kdy bude tato možnost dostupná.

Jeden proband z první kohorty a dva probandi z druhé kohorty hodnotili pohyb ve virtuálním prostředí jako sekaný. Na základě konzultace s odborníky z Fakulty aplikovaných věd ZČU v Plzni, jsem došel k závěru, že občasné sekaný pohyb byl způsobený špatným umístěním pozorovacích stanic (lighthouse), které bohužel kvůli rozvržení místnosti nešlo lépe umístit, a ne chybou terapeutického programu.

Naši aplikaci je možné v budoucnu rozšířit o další pohybové úkoly a případně o hry s terapeutickým efektem, které by mohly mít ve výsledku lepší efekt na funkci horní končetiny z důvodu širšího spektra prováděných úkonů. Které další úkoly do programu zahrnout by mělo být součástí dalšího bádání.

Terapeutický program také poskytuje fyzioterapeutovi možnost nahrát pacientův pohyb a následně jej ve formě trojrozměrného grafického záznamu v reálném časovém sledu přehrát (viz obrázky č. 19, 20, 21, 22, 23 a 24 v příloze č. 7). U vzorového probanda č. 4, je možné vidět zlepšení ve formě menšího rozptylu jednotlivých diagonál a snížení třesu v závěrečné fázi pohybu. U spirály je patrné nedotahování pohybu v pravé části obrazce.

Toto a zhodnocení kvality pohybu na základě třesu, akcelerace, rozsahu pohybu a dalších parametrů by v budoucnu mohlo sloužit k vyhodnocení pacientova pohybu. Případně odhalit omezení pohybu v určitém směru, bez využití dosavadních klinických testů, jen s pomocí terapeutického programu. Tuto možnost jsem ve své práci více nerozváděl, ale mohla by být předmětem budoucí studie i s možností využití neuronové sítě (umělé inteligence) pro kvalitnější vyhodnocení.

Autor si je vědom faktu, že se této studii zúčastnil jen malý počet dobrovolníků, takže naměřená data nemají statistickou výpovědní hodnotu. Mezi hlavní limitující faktory, kvůli kterým do studie nastoupilo málo dobrovolníků i přes počáteční velký zájem byly komplikace ve zdravotním stavu a odložení studie z důvodu optimalizování programu a následná pandemická situace. Počet studií zabývajících se využitím virtuální reality pro pacienty s roztroušenou sklerózou je méně, stejně tak je menší vzorek probandů, řádově mezi deseti až třiceti pacienty. Ve studii realizované autory Jonsdottier et al, 2019^[23] se programu zúčastnilo 18 dobrovolníků, ve studii virtuálního rehabilitačního systému KINECT RemoviEM, se terapeutický vliv sledoval na 11 pacientech.^[24] 30 probandů měly studie pod vedením Sarah Thomas et al.^[25] a studie autorů prováděná Kaltrona et al.^[26]

Autor práce si je také vědom faktu, že ke zjištění celkového zdravotního stavu je zapotřebí kromě odebrání anamnézy a série klinických testů také komplexní neurologické vyšetření, jenž by poskytlo přesnější informace ohledně zdravotního stavu nemocných a umožnilo komplexnější přístup v prováděné terapii. Na druhou stranu uvedení všech odebraných anamnéz, případně provedení komplexního neurologického vyšetření, by bylo nad rámec této studie.

Přesto jsem se snažil použít takové testy a dotazníky, které by co nejvíce komplexně zhodnotily terapeutický efekt námi vytvořeného programu na funkčnost horní končetiny, zlepšení stability sedu a kvality vstávání u nemocných s roztroušenou sklerózou mozkomíšní a nastínily možnost budoucího výzkumu na větším vzorku dobrovolníků.

Na výsledky studie je potřeba nahlížet i přes poměrnou heterogenitu souboru, přestože měli všichni probandí relaps-reminentní formu roztroušené sklerózy, škála EDSS se pohybovala od 2 (mírný neurologický nález) do 5,5 (používání kompenzačních pomůcek na delší vzdálenost, těžší neurologický nález), proto mohla mít i terapie různě velký efekt. Stejně tak je nutné přihlídnout i k aktuálnímu zdravotnímu stavu v den vstupního a výstupního vyšetření. Velké zlepšení v naměřených parametrech u probanda č. 5 odpovídalo jeho subjektivnímu hodnocení zdraví na stupnici VAS (vstupní vyšetření VAS 7, výstupní vyšetření VAS 2).

Na základě vyšetření můžeme vidět trend k nárůstu síly u obou kohort (statisticky významné na levé končetině $p=0,037$). Tento nárůst si můžeme vysvětlit využitím thera-bandu a využitím posilovacích technik z metody PNF.

Jemná motorika vyšetřovaná za pomoci 9HPT se v první kohortě prakticky nezlepšila, v druhé kohortě jsme mohli pozorovat trend ke zlepšení (statisticky významný na pravé končetině $p=0,046$). Náš terapeutický program zatím není schopný sledovat pohyb prstů, přestože sbírání míčků probíhalo středem dlaně, záviselo na pozici trackeru na zápěstí a pohyb prstů neměl na úspěšné plnění úkolu vliv. Proto jsem ani nepředpokládal zlepšení jemné motoriky, vzhledem k absenci cvičení na jednotlivé úchopy.

Hrubá motorika vyšetřovaná pomocí BBT testu se statisticky zlepšila v první kohortě na pravé ($p=0,037$) i levé končetině ($p=0,009$), u druhé kohorty můžeme sledovat trend ke zlepšení na pravé končetině a trend ke zhoršení na levé končetině. PNF diagonály využívají i flexi, extenzi, abdukci a addukci prstů ruky, proto bych předpokládal zlepšení hrubé motoriky i u druhé kohorty, možné nedostatečné zlepšení bylo způsobeno menším počtem terapeutických jednotek.

Vyšetření posturálního třesu za pomoci akcelerometru je unikátní vyšetření, které nabízí jiný pohled na popis charakteru třesu. Při srovnání hodnot f_{\max} obou kohort při otevřených očích na pravé končetině (vstupní f_{\max} 1,76 Hz, výstupní f_{\max} 1,43 Hz) a při zavřených očích na té samé končetině (vstupní f_{\max} 1,495 Hz, výstupní f_{\max} 1,365 Hz), vidíme trend ke snižování frekvence. Na základě srovnání vstupních a výstupních hodnot ($p=0,118$ a $p=0,182$), t-test neprokázal, že se dané soubory liší. Na levé končetině pak při otevřených očích má třes vstupní f_{\max} 1,43 Hz a výstupní f_{\max} 1,43 Hz, při zavřených očích vstupní f_{\max} 1,755 Hz a výstupní f_{\max} 1,56 Hz. Na levé končetině dochází k rozporu mezi naměřeným třesem při otevřených a zavřených očích. Přesto t-test neprokázal, že se dané soubory statisticky významně liší na hladině významnosti 0,05 ($p=0,158$ a $p=0,354$).

Míra třesu v obou kohortách byla v průměru na pravé končetině při otevřených očích na začátku terapie PSD_{\max} -49,74 dB/Hz a na konci terapie -49,68 dB/Hz. A při zavřených očích PSD_{\max} -50,905 dB/Hz a výstupní hodnota -47,935 dB/Hz. Je tedy v obou případech vidět trend ke zvýšení míry třesu. T-test nepotvrdil, statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 0,05 mezi vstupními a výstupními hodnotami míry třesu ($p=0,218$ a $p=0,171$). Na levé končetině při otevřených očích byla průměrná hodnota PSD_{\max} na začátku terapie -47,965 dB/Hz a na konci terapie -44,145 dB/Hz. Při zavřených očích jsme naměřili hodnoty PSD_{\max} -48,65 dB/Hz a -48,175 dB/Hz. V obou případech tedy vidíme trend ke zvýšení míry třesu. T-testem nemůžeme potvrdit statisticky významný rozdíl v souborech při otevřených a zavřených očích ($p=0,352$ a $p=0,140$).

Na základě výsledků t-testů, nemůžeme zamítnout H_0 hypotézu (soubory jsou stejné a stačí měřit jen jednou) ve prospěch H_1 (soubory se liší, je potřeba měřit s a bez zrakové kontroly) při hladině významnosti 0,05. Tudíž jsme nedokázali že je potřeba měřit obě hodnoty. K přesnějšímu zjištění by bylo potřeba provést statistické vyhodnocení na větším počtu probandů.

Terapeutický program se zaměřoval i na nácvik vstávání. Na základě vyhodnocení testu 5STS můžeme potvrdit statistické zlepšení v první kohortě ($p=0,044$) a trend ke zlepšení v druhé kohortě ($p=0,116$), při srovnání obou kohort došlo ke statistickému zlepšení ($p=0,011$), můžeme tedy konstatovat, že terapeutický program v kombinaci s naváděním fyzioterapeutem má pozitivní vliv na rychlost vstávání. Ale je důležité uvést, že všichni probandi hodnotili nácvik vstávání srozumitelnější při navádění terapeutem, který dokáže díky své klinické zkušenosti mnohem přesněji pacienta navést do správného pohybového vzoru a zároveň je schopný sledovat mnohem více detailů než naše aplikace. Bylo by tedy na místě v budoucnu ověřit samotný vliv terapeutického programu na stabilitu a rychlost vstávání, bez zásahu ze strany fyzioterapeuta.

Na základě dotazníku: Zkušenosti s virtuální realitou došlo k optimalizaci fyzioterapeutického programu viz výše. Dotazník MSIS-29 potvrdil ($p=0,028$) snížení dopadu roztroušené sklerózy v průměru o 6,2 bodu. U Evropského dotazníku zdraví – 5 rozměrů -5 úrovní vidíme trend ke zlepšení obtíží. A Stupnice celkového hodnocení pocitu změn, nám potvrzuje výsledky klinických testů i na bázi subjektivního vnímání, s převahou odpovědí: minimální zlepšení.

3.6 Závěr

Optimalizovaný fyzioterapeutický program ve virtuálním prostředí, využívající platformy HTC Vive, má pozitivní efekt na sledované parametry u 6 dobrovolníků, kteří se dané studie zúčastnili.

Došlo k nárustu síly stisku u obou kohort na levé končetině a pozorujeme trend k nárustu síly i na končetině pravé. Zlepšila se i jemná motorika na pravé ruce u druhé kohorty a pozorujeme tendenci ke zlepšení i na ruce levé. Ke zlepšení hrubé motoriky došlo u první kohorty na pravé a levé paži. U druhé kohorty, vidíme trend ke zlepšení na pravé paži a ve srovnání obou kohort pak zlepšení na paži pravé. Rychlost vstávání se zlepšila u obou kohort.

Z vyhodnocených dotazníků můžeme potvrdit snížení dopadu RS, a pozorovatelný trend ke zlepšení celkového stavu u dotazníků EQ-5D-5L-health questionnaire a Stupnice celkového hodnocení.

Aktuální verzi fyzioterapeutické aplikace je nutné ještě optimalizovat na základě klinických zkušeností a dotazníku: Zkušenosti s virtuální realitou a následně ji ověřit na větším počtu probandů.

4 Seznam literatury

- [1] KODERA, J. *Software pro rehabilitaci paže ve virtuální realitě*. Plzeň, 2020. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta aplikovaných věd.
- [2] FRANK, J. *Sběr 3D dat pro rehabilitační software ve virtuální realitě*. Plzeň, 2020. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta aplikovaných věd.
- [3] KÖNIG, A. *3D animace paže podle naměřených dat pro účely rehabilitace ve virtuální realitě*. Plzeň, 2020. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta aplikovaných věd.
- [4] HAVRDOVÁ, E. et al. *Roztroušená skleróza*. První vydání. Praha: Mladá fronta a.s., 2013. 485 stran, ISBN 978-80-204-3154-7
- [5] VALIŠ, M., PAVELEK, Z. et al. *Roztroušená skleróza pro praxi*. První vydání. Praha: Maxdorf s.r.o., 2018. 188 stran, ISBN 978-80-7345-573-6
- [6] *Co je to RS?* [online]. 2020. [cit. 2020/08/06]. Dostupné z: <http://ereska.cz/rs/index.html>.
- [7] HAVRDOVÁ, E. et al. *Roztroušená skleróza v praxi*. První vydání. Praha: Galén, 2015. 161 stran, ISBN 978-80-7492-189-6
- [8] HOŘEJŠÍ, V., BARTUŇKOVÁ, J. *Základy imunologie*. Třetí vydání. Praha: Triton, 2008. 280 stran, ISBN 80-7254-686-4
- [9] JEDLIČKA, P., KELLER, O., et al. *Speciální neurologie*. První vydání. Praha: Galén, 2005. 424 stran, ISBN 80-7262-312-5

[10] ŘASOVÁ, K., *Fyzioterapie u neurologicky nemocných (se zaměřením na roztroušenou sklerózu mozkomíšní)*. První vydání. Praha: CEROS, 2007. 135stran, ISBN 978-80-239-9300-4

[11] *Virtual reality*. In: Wikipedia: the free encyclopedia. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality.

[12] Matthew S., *The Verge* [online]. „*Seeing is Believing: The State of Virtual Reality*“. 2017. [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/a/virtual-reality/intro>.

[13] BALTRUŠATIS, J., STRACHAN, W.J. *Anamorphic art*. New York: Harry N. Abrams, 1977. 192 s. [ISBN 9780810906624](#).

[14] *Oculus Rift*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift.

[15] *Daniel Thalmann*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Daniel_Thalmann.

[16] International Society for Virtual Rehabilitation. *ISVR* [online]. 2019. [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: <http://isvr.org/about-us/the-society/>.

[17] *Virtual reality therapy*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_therapy.

- [18] *Benefits of Virtual Reality for Stroke Rehabilitation* [online]. Saebo, 2017. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://www.saebo.com/benefits-virtual-reality-stroke-rehabilitation/>.
- [19] *Armeo®* [online]. STARGEN EU s.r.o. [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: <https://www.stargen-eu.cz/rehabilitace/horni-koncetina/armeo/>.
- [20] *Rehawalk®* [online]. STARGEN EU s.r.o. [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: <https://www.stargen-eu.cz/rehabilitace/nacvik-chuze/rehawalk/>.
- [21] *Využití virtuální reality ve fyzioterapii* [online]. Praha: FYZIOklinika fyzioterapie s.r.o., [cit. 2019-09-02]. Dostupné z: <https://www.fyzioklinika.cz/clanky-o-zdravi/vyuziti-virtualni-reality-ve-fyzioterapii>.
- [22] POLÁK, A., *Vizuální neurorehabilitace u pacientů s inkompletní míšní lézí*. Praha, 2017. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Katedra fyzioterapie.
- [23] JONSDOTTIR, J., PERINI, G., ASCOLE, A., BOWMAN, T., MONTESANO, A., LAWO, M., BERTONI, R., *Unilateral arm rehabilitation for persons with multiple sclerosis using serious games in a virtual reality approach: Bilateral treatment effect?* ScienceDirect [online]. 2019, [cit. 2019-09-03] DOI: 10.1016/j.msard.2019.07.010 PMID: 31352180. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211034819303037?via%3Dihub>.
- [24] LOZANO-QUILIS, J., A., GIL-GÓMEZ, H., GIL-GÓMEZ, J., A., ALBIOL-PÉREZ, S., PALACIOS-NAVARRO, G., M FARDOUN, H., S MASHAT, A. *Virtual Rehabilitation for Multiple Sclerosis Using a Kinect-Based System: Randomized Controlled Trial*. JMIR Serious Games [online]. 2014, [cit. 2019-09-02]. DOI: 10.2196/games.2933. ISSN 2291-9279. Dostupné z: <http://games.jmir.org/2014/2/e12/>.

[25] THOMAS, S., FAZAKARLEY, L., W THOMAS, P. et al. *Mii-vitaliSe: A pilot randomised controlled trial of a home gaming system (Nintendo Wii) to increase activity levels, vitality and well-being in people with multiple sclerosis*. *BMJ Open* [online]. 2017, [cit. 2019-09-02]. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-016966. ISSN 2044-6055. Dostupné z: <http://bmjopen.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmjopen-2017-016966>.

[26] KALRON, A., FONKATZ, I., FRID, L., BARANSI, H., ACHIRON, A. *The effect of balance training on postural control in people with multiple sclerosis using the CAREN virtual reality system: a pilot randomized controlled trial*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2016, [cit. 2019-09-03]. DOI: 10.1186/s12984-016-0124-y. ISSN 1743-0003. Dostupné z: <http://www.jneuroengrehab.com/content/13/1/13>.

[27] HORÁK, P., *Objektivizace vyšetření třesu pomocí akcelerometru*. Praha, 2018. Bakalářská práce. Univerzita Karlova 3. lékařská fakulta.

[28] EARHART, G., M., JIM T. CAVANAUGH, J., T., ELLIS, T., FORD, M., P., FOREMAN, K., B., DIBBLE, L. *The 9-Hole Peg Test of Upper Extremity Function*. *Journal of Neurologic Physical Therapy* [online]. 2011, [cit. 2020-08-16]. ISSN 1557-0576. Dostupné z: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=01253086-201112000-00002>.

[29] MATHIOWETZ, V., VOLLAND, G., KASHMAN, N., WEBER, K., 1985a. *Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity*. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*. 6., roč. 39, č. 6, s. 386–391. ISSN 0272-9490.

- [30] WHITNEY, S., L., WRISLEY, D., M., MARCHETTI, G., F., GEE, M., A., REDFERN, M., S., FURMAN, J., M. *Clinical measurement of Sit-to-Stand performance in people with balance disorders: validity of data for the Five-Times-Sit-to-Stand Test*. Physical therapy [online]. 2005, roč. 85, č. 10, ss. 1034–1045 [cit. 2020-08-16]. ISSN 1538-6724. Dostupné z: <http://ptjournal.apta.org/content/85/10/1034.full.pdf>.
- [31] Euriqol Research Fondation. *EQ-5D-5L | FAQs* [online] Verze 16SEP2019. Rotterdam, Holandsko. 2019, [cit. 2020-08-16]. Dostupné z: <https://euroqol.org/eq-5d-instruments/eq-5d-5l-about/faqs-2/>.
- [32] HOBART, J., LAMOING, D., FITZPATRICK, R. et al. *The Multiple Sclerosis Impact Scale (MSIS-29): A new patient-based outcome measure* [online]. Oxford Univerzity, 2001, [cit. 2020-08-16] Dostupné z: <https://academic.oup.com/brain/article/124/5/962/309935>.
- [33] DAUBNER, J., HOLODOVÁ, B., SVIATKOVÁ, Z., ŘASOVÁ, K. *Vliv fyzioterapeutických facilitačních technik a virtuální reality na funkci horní končetiny u pacientů s roztroušenou sklerózou*. Studentská vědecká konference 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy: Program & sborník abstrakt ze Studentské vědecké konference 2018, 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Trimed – spolek studentů 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy. ISBN 978-80-87878-33-0:11
- [34] HOLUBAŘOVÁ, J., PAVLA, D. *Proprioceptivní neuromuskulární facilitace. 1. část*. Třetí vydání. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2017. 115 stran, ISBN 978-80-246-3607-8
- [35] ŘASOVÁ, K., PROCHÁZKOVÁ, M. et al. *"Motor programme activating therapy influences adaptive brain functions in multiple sclerosis: clinical and MRI study."* International Journal of Rehabilitation Research, 2015;38, první vydání:49-54

[36] ŘASOVÁ, K. *Fyzioterapie u neurologicky nemocných (se zaměřením na roztroušenou sklerózu mozkomíšní)*. První vydání. Praha: CEROS, 2007. 135 stran, ISBN 978-80-239-9300-4

[37] HTC Corporation. *HTC Vive product* [online]. HTC Corporation, 2020. [cit. 2020-08-22]. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/product/vive/>.

[38] *TurboSquid* [online]. 2020 [cit. 2020-08-22] Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-model-htc-vive/1037510>.

[39] KOTÍKOVÁ, P., *Jak vypovídá vyšetření akcelerometrem o funkci horních končetin u nemocných s roztroušenou sklerózou mozkomíšní?* Praha, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Karlova 3. Lékařská fakulta.

[40] KAMPER, S., J., MAHER, C., G., MACKAY, G. *Global rating of change scales: a review of strengths and weaknesses and considerations for design*. *The Journal of manual & manipulative therapy*. 2009;17(3):163-70. PMID: 20046623

5 Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Srovnání terapeutické aplikace pro první a druhou kohortu.....	33
Tabulka č. 2: Srovnání terapeutických cvičení pro první a druhou kohortu.....	42
Tabulka č. 3: Základní charakteristika probandů.....	45
Tabulka č. 4: Základní charakteristika roztroušené sklerózy u probandů.....	46
Tabulka č. 5 Síla stisku probandů první a druhé kohorty.....	49
Tabulka č. 6 Výsledky probandů v Nine-Hole Peg Testu.....	50
Tabulka č. 7 Výsledky probandů v Box and Block Testu.....	51
Tabulka č. 8: Vyšetření třesu, otevřené oči, nejvyšší frekvence f_{\max}	52
Tabulka č. 9: Vyšetření třesu, zavřené oči, nejvyšší frekvence f_{\max}	53
Tabulka č. 10: Vyšetření třesu, otevřené oči, míra třesu [dB/Hz].....	54
Tabulka č. 11: Vyšetření třesu, zavřené oči, míra třesu [dB/Hz].....	55
Tabulka č. 12: Five times Sit to Stand Test.....	57
Tabulka č. 13: Dotazník: Stupnice dopadu roztroušené sklerózy MSIS-29.....	58
Tabulka č. 14: Evropský dotazník zdraví – 5 rozměrů – 5 úrovní, 1. část.....	59
Tabulka č. 14: Evropský dotazník zdraví – 5 rozměrů – 5 úrovní, 2. část.....	60
Tabulka č. 15: Stupnice celkového hodnocení (pocit změn) pacient/terapeut.....	62
Tabulka č. 16: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou.....	63
Tabulka č. 17: Jednotlivá měření síly stisku probandů první a druhé kohorty.....	95
Tabulka č. 18: Jednotlivá měření Nine-Hole Peg Testu v první a druhé kohortě....	95
Tabulka č. 19: Výsledky jedno-výběrového, párového t-testu pro sledované parametry.....	96
Tabulka č. 20: Výsledky jedno-výběrového, párového t-testu posturálního třesu...97	97

6 Seznam grafů

Graf č. 1: Hodnoty vizuální analogové škály u osob s roztroušenou sklerózou.....47

7 Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Platforma HTC Vive, headset, controllery, trackery a lighthouses...	24
Obrázek č. 2: Uživatelské rozhraní zobrazované terapeutovi.....	31
Obrázek č. 3: Ukázka části konfiguračního souboru.....	32
Obrázek č. 4: Flow chart v první kohortě.....	43
Obrázek č. 5: Flow chart v druhé kohortě.....	44
Obrázek č. 6: Dynamometr firmy JAMAR.....	90
Obrázek č. 7 Nine-Hole Peg Test.....	90
Obrázek č. 8 Box and Block Test.....	90
Obrázek č. 9 Akcelerometr.....	90
Obrázek č. 10 Trackery sledující pohyb probanda.....	90
Obrázek č. 11 Umístění trackerů.....	90
Obrázek č. 12 Nahrávání vzorového pohybu.....	91
Obrázek č. 13 Preklinické testování.....	91
Obrázek č. 14 Terapeutická jednotka pod vedením fyzioterapeuta.....	91
Obrázek č. 15 Míčková hra.....	92
Obrázek č. 16 I.diagonála, flekční vzor, pravá končetina.....	92
Obrázek č. 17 II. diagonála, flekční vzor, pravá končetina.....	92
Obrázek č. 18 Nácvik vstávání.....	92
Obrázek č. 19 Spirála, první terapie.....	93
Obrázek č. 20 Spirála, poslední terapie.....	93
Obrázek č. 21 I. diagonála, první terapie.....	93
Obrázek č. 22 I. diagonála, poslední terapie.....	93
Obrázek č. 23 II. diagonála, první terapie.....	93
Obrázek č. 24 II. diagonála, poslední terapie.....	93

8 Přílohy

Příloha č. 1: Souhlas etické komise

Příloha č. 2: Informovaný souhlas první kohorty

Příloha č. 3: Informovaný souhlas druhé kohorty

Příloha č. 4: Předávací protokol k platformě HTC Vive

Příloha č. 5: Náborový leták

Příloha č. 6: Dotazník: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou

Příloha č. 7: Obrázková fotodokumentace

Příloha č. 8: Zdrojová data

Příloha č. 1: Souhlas etické komise



ETICKÁ KOMISE
FAKULTNÍ NEMOCNICE KRÁLOVSKÉ VINOHRADY
MEDICAL FACULTY OF CHARLES UNIVERSITY

ROZHODNUTÍ MULTICENTRICKÉ ETICKÉ KOMISE FAKULTNÍ NEMOCNICE KRÁLOVSKÉ VINOHRADY

EK-VP/01/0/2018

NÁZEV PROJEKTU:

Využití virtuální reality ve fyzioterapii na funkci horní končetiny u pacientů s roztroušenou sklerózou

Hlavní řešitel ve FNKV:

Doc. PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.
Klinika rehabilitačního lékařství

Etická komise na svém zasedání dne 10. ledna 2018 projednala návrh vědeckého projektu doloženého následujícími dokumenty:

1. Žádost
2. Anotace projektu
3. Informovaný souhlas pacienta
4. Životopisy členů týmu
5. Souhlas přednostky kliniky

Na základě hlasování EK vydává

- Souhlasné stanovisko
 Nesouhlasné stanovisko

Upozornění ke stanovisku EK FNKV:

- Hlavní řešitel je povinen ohlásit EK FNKV datum zahájení a ukončení projektu a zaslat závěrečnou zprávu.
- V případě, že z projektu vzejde publikace, je hlavní řešitel povinen publikaci dedikovat FNKV.

Seznam členů etické komise

Jméno a příjmení	Muž/ Žena	Odbornost	Zaměstnanec zřizovatele EK*		Funkce v EK	Přítomen		Hlasoval	
			Ano	Ne		Ano	Ne	Ano	Ne
prof. MUDr. Jan Páchl, CSc.	M	anesteziolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	předseda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Martin Herold	M	kardiolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	místopředseda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Milan Brychta	M	onkolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jarmila Folprechtová	F	zástupce pacientů	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PhDr. Libuše Gavlasová	F	zdravotní sestra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MUDr. Nikola Mejzlíková	F	internistka	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dana Kovandová	F	tajemnice	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Eva Krpenská	M	chirurg	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mgr. Petr Mlynář	M	farmakolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luboš Olejář	M	zástupce pacientů	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Leo Slavkovský	M	anesteziolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

(pozn: *Zaměstnanec zřizovatele EK)

Etická komise prohlašuje, že byla ustavena a pracuje podle jednacího řádu v souladu se správnou klinickou praxí (GCP) a platnými právními předpisy: Ano Ne

10.1.2018
Datum

Prof. MUDr. Jan Páchl, CSc.
předseda EK FNKV

Podpis předsedy/místopředsedy EK

Kauč
FAKULTNÍ NEMOCNICE
KRALOVSKÉ VINOHRADY
Šrobárova 50, 100 34 Praha 10
ETICKÁ KOMISE

Příloha č. 2: Informovaný souhlas první kohorty

Informovaný souhlas účastníka studie

Já, níže uvedený, dávám souhlas k účasti ve studii s názvem:

SLEDOVÁNÍ EFEKTU FYZIOTERAPIE s využitím virtuální reality U NEMOCNÝCH S ROZTROUŠENOU SKLERÓZOU

Jméno:

Rodné číslo:

Identifikační kód:

1. Zcela dobrovolně souhlasím s účastí v této studii.
2. Prohlašuji, že splňuji kritéria zařazení do studie:
 - jednoznačná klinická diagnóza RS
 - EDSS ≥ 2 a ≤ 7 určena neurologem nebo vyškoleným klinikem
 - bez recidivy poslední měsíc
 - bez změn v nemoci modifikující léčení a bez terapie kortikoidy v průběhu posledního měsíce
 - schopen/a samostatnosti
 - schopen absolvovat nejméně 15 terapií (hospitalizovaný nebo ambulantní pacient) s maximální dobou trvání 3-4 měsíců
3. Prohlašuji, že se u mě neobjevily žádná vylučující kritéria:
 - další faktory narušující mobilitu (např. mozková příhoda, těhotenství, zlomeniny)
 - vážná kardiovaskulární nebo ortopedická dysfunkce
4. Souhlasím s absolvováním 2 klinických vyšetření, které proběhnou před začátkem a po ukončení terapeutického programu ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady (FNKV) v Praze. Náplň testů budou různé obecně používané, bezpečné klinické testy. Testována bude především funkce horních končetin (rychlost, přesnost, koordinace, motorika, síla stisku a třes), rovnováha a stabilita (při sedu a stojí, vstávání ze židle a posazení se zpět). Součástí každého vyšetření bude i vyplnění dotazníků (dotazy týkající se únavy, vnímání onemocnění, změny probíhající v průběhu terapie a zpětná vazba na terapii virtuální realitou).
5. Souhlasím, že podstoupím nabízený terapeutický program využívající virtuální realitu na neurofyzilogickém podkladě (Motorické programy aktivující terapii v kombinaci s Proprioceptivní neuromuskulární facilitací).
6. Souhlasím s účastí na 15 terapiích, které budou probíhat hodinu 2x týdně po dobu tří až čtyř měsíců ve FNKV v Praze.
7. Souhlasím s pořízením a použitím fotografií a případně video záznamů mé osoby, které budou použity výhradně pro účely studie.

8. Byl(a) jsem plně informován(a) o účelu této studie, o procedurách s ní souvisejících a o tom, co se ode mne očekává. Měl(a) jsem možnost položit jakýkoliv dotaz, týkající se použité metody i účelu této studie a potvrzuji, že všechny mé dotazy byly zodpovězeny.
9. Vím, že mohu kdykoli svobodně ze studie odstoupit, aniž by to mělo vliv na kvalitu mého dalšího léčení.
10. Chápu, že informace v mé zdravotnické dokumentaci jsou významné pro vyhodnocení výsledků studie. Souhlasím s využitím těchto informací s vědomím, že bude zachována důvěrnost těchto informací.

Datum:

Podpis pacienta:

„Souhlasím“

Já, níže podepsaný (klinický pracovník), tímto prohlašuji, že jsem dle mého nejlepšího vědomí vysvětlil/a cíle, postupy, výhody a rovněž také rizika a diskomfort vyplývající z této studie účastníku této studie nebo jeho zákonnému zástupci (jméno a příjmení)

.....
Účastník poskytl svůj informovaný souhlas k účasti ve studii. Kopie informovaného souhlasu bude dobrovolníkovi poskytnuta.

Datum:

Podpis výzkumného pracovníka:

Koordinátor studie: Lubomír Rodina, lubik.rodinka@gmail.com,
721 042 068

Garant studie: doc. PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.,
kamila.rasova@gmail.com, 604 511 416

Příloha č. 3: Informovaný souhlas druhé kohorty

Informovaný souhlas účastníka studie

Já, níže uvedený, dávám souhlas k účasti ve studii s názvem:

SLEDOVÁNÍ EFEKTU FYZIOTERAPIE s využitím virtuální reality U NEMOCNÝCH S ROZTROUŠENOU SKLERÓZOU

Jméno:

Rodné číslo:

Identifikační kód:

11. Zcela dobrovolně souhlasím s účastí v této studii.
12. Prohlašuji, že splňuji kritéria zařazení do studie:
 - jednoznačná klinická diagnóza RS
 - EDSS ≥ 2 a ≤ 7 určena neurologem nebo vyškoleným klinikem
 - bez recidivy poslední měsíc
 - bez změn v nemoci modifikující léčení a bez terapie kortikoidy v průběhu posledního měsíce
 - schopen/a samostatnosti
 - schopen absolvovat nejméně 10 terapií (hospitalizovaný nebo ambulantní pacient) s maximální dobou trvání 2 měsíců
13. Prohlašuji, že se u mě neobjevily žádná vylučující kritéria:
 - další faktory narušující mobilitu (např. mozková příhoda, těhotenství, zlomeniny)
 - vážná kardiovaskulární nebo ortopedická dysfunkce
14. Souhlasím s absolvováním 2 klinických vyšetření, které proběhnou před začátkem a po ukončení terapeutického programu ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady (FNKV) v Praze. Náplň testů budou různé obecně používané, bezpečné klinické testy. Testována bude především funkce horních končetin (rychlost, přesnost, koordinace, motorika, síla stisku a třes), rovnováha a stabilita (při sedu a stojí, vstávání ze židle a posazení se zpět). Součástí každého vyšetření bude i vyplnění dotazníků (dotazy týkající se únavy, vnímání onemocnění, změny probíhající v průběhu terapie a zpětná vazba na terapii virtuální realitou).
15. Souhlasím, že podstoupím nabízený terapeutický program využívající virtuální realitu na neurofyzilogickém podkladě (Motorické programy aktivující terapii v kombinaci s Proprioceptivní neuromuskulární facilitací).
16. Souhlasím s účastí na 10 terapiích, které budou probíhat hodinu 2x týdně po dobu dvou měsíců ve FNKV v Praze.
17. Souhlasím s pořízením a použitím fotografií a případně video záznamů mé osoby, které budou použity výhradně pro účely studie.

18. Byl(a) jsem plně informován(a) o účelu této studie, o procedurách s ní souvisejících a o tom, co se ode mne očekává. Měl(a) jsem možnost položit jakýkoliv dotaz, týkající se použité metody i účelu této studie a potvrzuji, že všechny mé dotazy byly zodpovězeny.
19. Víím, že mohu kdykoli svobodně ze studie odstoupit, aniž by to mělo vliv na kvalitu mého dalšího léčení.
20. Chápu, že informace v mé zdravotnické dokumentaci jsou významné pro vyhodnocení výsledků studie. Souhlasím s využitím těchto informací s vědomím, že bude zachována důvěrnost těchto informací.

Datum:

Podpis pacienta:

„Souhlasím“

Já, níže podepsaný (klinický pracovník), tímto prohlašuji, že jsem dle mého nejlepšího vědomí vysvětlil/a cíle, postupy, výhody a rovněž také rizika a diskomfort vyplývající z této studie účastníku této studie nebo jeho zákonnému zástupci (jméno a příjmení)

.....
Účastník poskytl svůj informovaný souhlas k účasti ve studii. Kopie informovaného souhlasu bude dobrovolníkovi poskytnuta.

Datum:

Podpis výzkumného pracovníka:

Koordinátor studie: Lubomír Rodina, lubik.rodinka@gmail.com,
721 042 068

Garant studie: doc. PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.,
kamila.rasova@gmail.com, 604 511 416

Příloha č. 4: Předávací protokol k platformě HTC Vive

Předávací protokol



Odbor ICT

Předávací protokol na IT techniku dodávanou z DARU: 2017/30/F

- 1) HP EliteDesk 800G3 1 kus
S/N: CZC74988Q8

Do PC bylo instalováno:

- HDD 500GB Seagate
- 2x 4GB DDR4 2400MHz
- Asus GTX1070-8G

- 2) HTC Vive
S/N: FA71AAB04689
- 3) HP EliteDisplay E243i
S/N: 6CM73722V7

Předávající:

FAKULTNÍ ŠKOLNICE
KRALOVSKÉ VINOHRÁDKY
Šrobárova 50, 602 01, Příbram 10
Odbor ICT

Ing. Petr Krátký
Odbor ICT

Přebírající:

doc. PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.
garant oboru fyzioterapie

Datum: 5. ledna 2018

Příloha č. 5: Náborový leták

Výzkum terapeutických možností pro pacienty s RS

Fyzioterapie zaměřená na funkci horních končetin, stabilitu a posílení posturálního svalstva u roztroušené sklerózy mozkomíšní

Dobrý den, jsem studentem fyzioterapie 3. LF UK a v rámci realizace své bakalářské práce bych Vám rád nabídl fyzioterapii zaměřenou na funkci horních končetin a stabilitu trupu. Cílem studie je ověřit speciálně vyvinutý fyzioterapeutický program využívající virtuálního prostředí u nemocných s roztroušenou sklerózou mozkomíšní. V terapii jsou kombinovány principy dvou fyzioterapeutických metod. Proprioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF) a Motorické programy aktivující terapie (MPAT).

Kritériem pro účast ve studii je klinická diagnóza RS (EDSS ≥ 2 a ≤ 7), bez recidivy a změn modifikace léčení v průběhu posledního měsíce. Možnost docházet do FNKV (Šrobárova 1150/50, Praha 10, budova K1) na rehabilitaci 2-3 x týdně (celkem 10-15 terapií) v období říjen až leden a červen až červenec. Hygienické normy a dezinfekce zajištěna.

U daného terapeutického programu předpokládáme pozitivní vliv na vyšetřované parametry. Účast ve studii poskytne účastníkům příležitost zúčastnit se ambulantní fyzioterapie s možností konzultovat svůj zdravotní stav a výsledky měření v rámci této studie.

Pro více informací se mi prosím ozvěte
Lubomír Rodina
tel: 721 042 068
email: lubik.rodinka@gmail.com

Příloha č. 6: Dotazník: Zkušenosti pacientů s virtuální realitou

Dotazník Zkušenosti pacientů s virtuální realitou

Jméno:

Datum:

Hodící se zakroužkuj:

- 1) Prostředí (Stonehenge) virtuální reality mě **nerušilo/rušilo** v průběhu terapie.
- 2) Pohyb ve virtuálním prostředí jsem vnímal jako **plynulý/sekaný**.
- 3) Virtuální paže na mě působila **reálně/nereálně**.
- 4) Virtuální paže se pohybovala **přirozeně/nepřirozeně**.
- 5) Virtuální paže mi v počátcích terapie **pomáhala/nepomáhala** naučit se správně provést diagonály.
- 6) Virtuální paže mě v pozdějších fázích terapie **nerozptylovala/rozptylovala**.
- 7) Virtuální paže mně při diagonálách **pomáhala/překážela**.
- 8) Návčik vstávání byl pro mě snazší při vedení **terapeutem/virtuální realitou**.
- 9) Při návčiku vstávání ve virtuální realitě by mi **pomohla/nepomohla** přítomnost židle při dosedání.
- 10) Terapii za pomoci virtuální reality bych osobně zhodnotil/a **kladně/záporně**.
- 11) Pokud bych měl/a možnost samostatně provádět dodatečná rehabilitační cvičení ve virtuální realitě v domácím prostředí, pak bych jí **využil/a/nevyužil/a**.
- 12) Co spatřujete jako největší problém současného řešení rehabilitace ve virtuální realitě? *Krátce odpovězte*

Příloha č. 7: Obrázková fotodokumentace (zdroj: autor)

Klinické testy



Obrázek č. 6: Dynamometr firmy JAMAR



Obrázek č. 7: Nine-Hole Peg Test

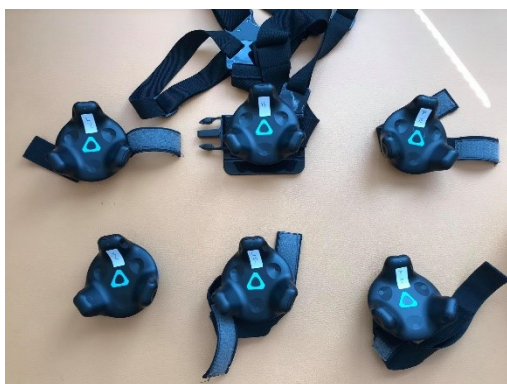


Obrázek č. 8: Box and Block Test

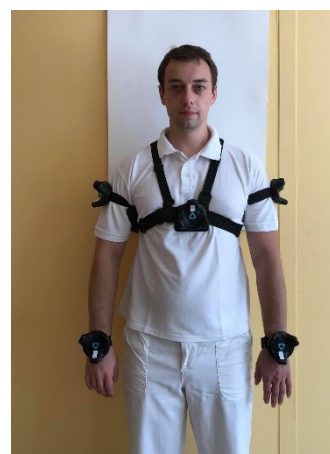


Obrázek č.9: Akcelerometr

Virtuální realita, trackery



Obrázek č. 10: Trackery sledující pohyb probanda



Obrázek č. 11: Umístění trackerů

Vývoj terapeutického programu



Obrázek č. 12: Nahrávání vzorového pohybu



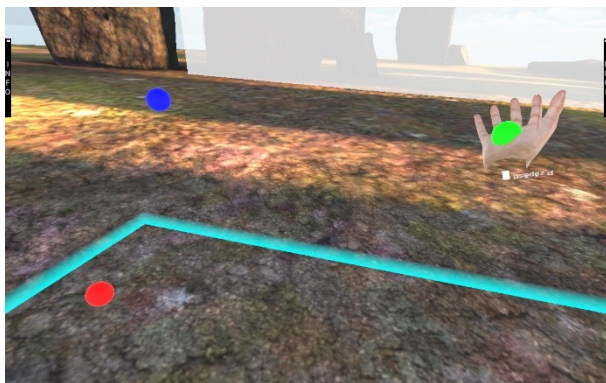
Obrázek č. 13: Preklinické testování

Klinické testování

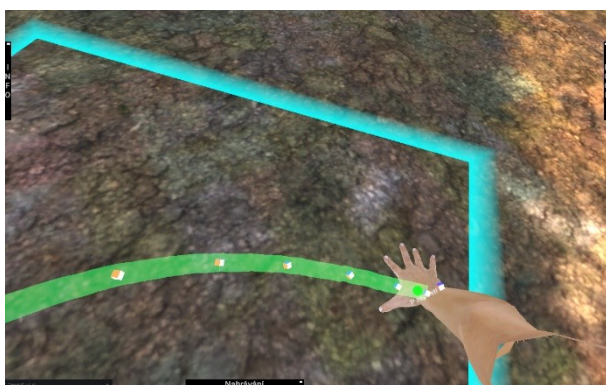


Obrázek č. 14: Terapeutická jednotka pod vedením fyzioterapeuta

Ukázky virtuální prostředí



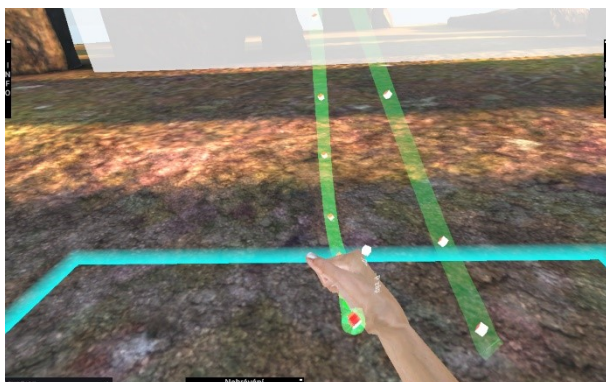
Obrázek č. 15: Míčková hra



Obrázek č. 16: I.diagonála, flekční vzor, pravá končetina



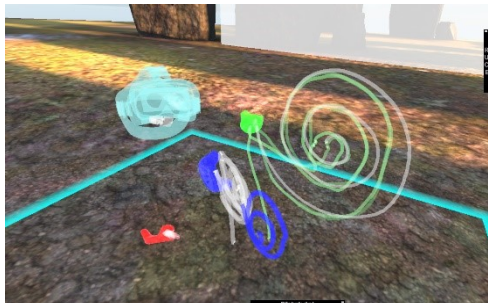
Obrázek č. 17: II. diagonála, flekční vzor, pravá končetina



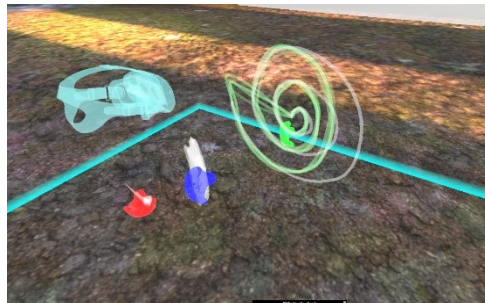
Obrázek č. 18: Návčik vstávání

Vzorový záznam pohybu ve virtuálním prostředí

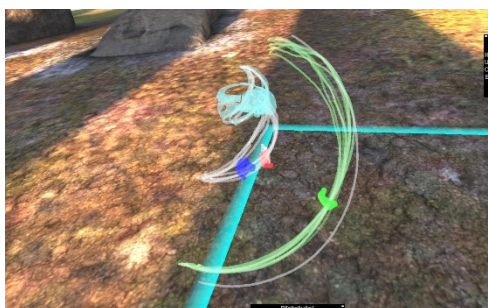
Pravá končetina, proband č. 4



Obrázek č. 19: Spirála, první terapie



Obrázek č. 20: Spirála, poslední terapie



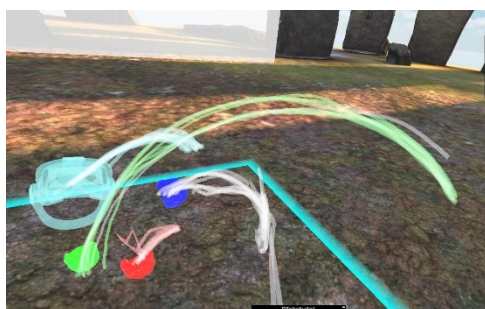
Obrázek č. 21: I. diagonála, první terapie



Obrázek č. 22: I. diagonála, poslední terapie



Obrázek č. 23: II. diagonála, první terapie



Obrázek č. 24: II. diagonála, poslední terapie

Příloha č. 8: Zdrojová data

Tabulka č. 17: Jednotlivá měření síly stisku probandů první a druhé kohorty

pořad. číslo probanda	datum vyšetření	Hand grip PHK1 [kg]	Hand grip PHK2 [kg]	Hand grip PHK3 [kg]	Průměr PHK [kg]	Hand grip LHK1 [kg]	Hand grip LHK2 [kg]	Hand grip LHK3 [kg]	Průměr LHK [kg]
1	26.10.2019	20,0	24,0	24,0	22,7	22,0	24,0	22,0	22,7
1	13.2.2020	22,0	22,0	23,0	22,3	20,0	20,0	24,0	21,3
2	26.10.2019	16,0	18,0	18,0	17,3	18,0	16,0	14,0	16,0
2	11.2.2020	16,1	20,0	20,0	18,7	20,0	18,0	22,0	20,0
3	26.10.2019	26,0	24,0	22,0	24,0	22,0	22,0	20,0	21,3
3	13.2.2020	26,0	28,0	26,0	26,7	24,0	26,0	26,0	25,3
4	11.6.2020	44,0	42,0	39,0	41,7	40,0	48,0	49,0	45,7
4	5.8.2020	56,0	56,0	57,0	56,3	54,0	56,0	54,0	54,7
5	11.6.2020	24,0	14,0	12,0	16,7	17,0	16,0	16,0	16,3
5	6.8.2020	24,0	18,0	20,0	20,7	20,0	20,0	20,0	20,0
6	17.6.2020	24,0	22,0	26,0	24,0	22,0	20,0	22,0	21,3
6	6.8.2020	26,0	25,0	28,0	26,3	22,0	24,0	24,0	23,3

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, kg – kilogramy

Tabulka č. 18: Jednotlivá měření Nine-Hole Peg Testu v první a druhé kohortě

pořad. číslo probanda	datum vyšetření	9HPT PHK1 [s]	9HPT PHK2 [s]	9HPT průměr PHK [s]	9HPT LHK1 [s]	9HPT LHK2 [s]	9HPT průměr LHK [s]
1	26.10.2019	18,6	17,6	18,1	19,3	17,8	18,6
1	13.2.2020	18,8	18,7	18,8	20,2	18,4	19,3
2	26.10.2019	29,6	24,2	26,9	25,7	22,2	24,0
2	11.2.2020	32,8	28,5	30,7	24,8	21,4	23,1
3	26.10.2019	23,9	19,7	21,8	21,4	21,4	21,4
3	13.2.2020	24,6	20,1	22,4	19,7	20,9	20,3
4	11.6.2020	23,4	20,7	22,1	25	21,7	23,4
4	5.8.2020	20,7	21	20,9	26	23,5	24,8
5	11.6.2020	24	21,4	22,7	22,8	21,6	22,2
5	6.8.2020	19,4	17	18,2	20,9	19,8	20,4
6	17.6.2020	26	24,3	25,2	34,4	34,1	34,3
6	6.8.2020	22,2	22	22,1	29	28	28,5

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, s – sekundy

Tabulka č. 19: Výsledky jedno-výběrového, párového t-testu pro sledované parametry

Hand Grip	hodnota t	stupně volnosti	hodnota p
1.kohorta PHK	-1,3723	2	0,152
1.kohorta LHK	-1,2222	2	0,173
2.kohorta PHK	-1,8104	2	0,106
2.kohorta LHK	-1,9099	2	0,099
1. a 2.kohorta PHK	-1,8779	5	0,06
1. a 2.kohorta LHK	-2,2496	5	0,037
9HPT			
1.kohorta PHK	-1,6184	2	0,124
1.kohorta LHK	0,7608	2	0,263
2.kohorta PHK	3,0675	2	0,046
2.kohorta LHK	0,9923	2	0,213
1. a 2.kohorta PHK	0,5074	5	0,317
1. a 2.kohorta LHK	1,2108	5	0,14
BBT			
1.kohorta PHK	-3,4541	2	0,037
1.kohorta LHK	-7,1813	2	0,009
2.kohorta PHK	-2,0108	2	0,091
2.kohorta LHK	-0,6662	2	0,287
1. a 2.kohorta PHK	-2,6814	5	0,022
1. a 2.kohorta LHK	-1,6702	5	0,078
5STS			
1.kohorta	3,1474	2	0,044
2.kohorta	1,6971	2	0,116
1. a 2.kohorta	3,2799	5	0,011
MSIS-29			
1.kohorta	1,9215	2	0,097
2.kohorta	1,3628	2	0,153
1. a 2.kohorta	2,4844	5	0,028
EQ-5D-5L			
1.kohorta	-0,5	2	0,333
2.kohorta	-1,7321	2	0,113
1. a 2.kohorta	-1,2741	5	0,129
VAS			
1.kohorta	-3,464	2	0,037
2.kohorta	1	2	0,211
1. a 2.kohorta	-0,1465	5	0,445
VAS 5 dní			
1.kohorta	-1	2	0,211
2.kohorta	2	2	0,092
1. a 2.kohorta	0,5423	5	0,305

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina

Tabulka č. 20: Výsledky jedno-výběrového, párového t-testu posturálního třesu

otevřené oči f_{max}	hodnota t	Stupně volnosti	hodnota p
1.kohorta PHK	5	2	0,019
1.kohorta LHK	-8,22E-17	2	0,5
2.kohorta PHK	-3,00E-16	2	0,5
2.kohorta LHK	0	2	0,5
1. a 2.kohorta PHK	1,7461	5	0,071
1. a 2.kohorta LHK	-6,90E-17	5	0,5
zavřené oči f_{max}			
1.kohorta PHK	totožné hodnoty		nelze určit
1.kohorta LHK	1	2	0,211
2.kohorta PHK	2	2	0,092
2.kohorta LHK	0,5547	2	0,317
1. a 2.kohorta PHK	1,5811	5	0,087
1. a 2.kohorta LHK	0,8885	5	0,207
otevřené oči PSD_{max}			
1.kohorta PHK	0,2299	2	0,42
1.kohorta LHK	-0,9079	2	0,23
2.kohorta PHK	-0,286	2	0,401
2.kohorta LHK	-0,9922	2	0,213
1. a 2.kohorta PHK	-0,0867	5	0,467
1. a 2.kohorta LHK	-1,106	5	0,16
zavřené oči PSD_{max}			
1.kohorta PHK	-1,756	2	0,111
1.kohorta LHK	-0,4446	2	0,35
2.kohorta PHK	0,2703	2	0,406
2.kohorta LHK	0,2077	2	0,427
1. a 2.kohorta PHK	-1,2931	5	0,126
1. a 2.kohorta LHK	-0,2712	5	0,399
f_{max} obou kohort otevřené/zavřené oči			
f_{max} vstup/vstup PHK	1,3484	5	0,118
f_{max} výstup/výstup PHK	1	5	0,182
f_{max} vstup/vstup LHK	-1,1125	5	0,158
f_{max} výstup/výstup LHK	-0,3952	5	0,354
PSD_{max} obou kohort otevřené/zavřené oči			
f_{max} vstup/vstup PHK	0,8464	5	0,218
f_{max} výstup/výstup PHK	-1,0492	5	0,171
f_{max} vstup/vstup LHK	0,4028	5	0,352
f_{max} výstup/výstup LHK	1,2137	5	0,14

Legenda: PHK – pravá horní končetina, LHK – levá horní končetina, f_{max} – největší frekvence třesu, PSD_{max} – největší míra třesu, vstup – vstupní vyšetření, výstup – výstupní vyšetření