

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství

Disertační práce

únor, 2023

MUDr. Markéta Janatová

Katedra informačních a komunikačních technologií v lékařství

***HODNOCENÍ EFEKTU TERAPIE S VYUŽITÍM
VYVÍJENÉHO INTERAKTIVNÍHO SYSTÉMU
PRO TRÉNINK STABILITY***

Disertační práce

MUDr. Markéta Janatová

Kladno, únor, 2023

Doktorský studijní program: *Biomedicínská a klinická technika*

Studijní obor: *Biomedicínská a klinická technika*

Školitel: *doc. MUDr. Jaroslav Jeřábek, CSc.*

Školitel specialista: *doc. Ing. Karel Hána, Ph.D.*

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem „Hodnocení efektu terapie s využitím vyvíjeného interaktivního systému pro trénink stability“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k disertační práci.

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

V Praze dne:

.....

MUDr. Markéta Janatová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji školiteli doc. MUDr. Jaroslavovi Jeřábkovi. CSc. a školiteli – specialistovi doc. Ing. Karlovi Hánovi, Ph.D. za jejich trpělivost a cenné rady při vedení mé disertační práce. Dále děkuji všem spoluautorům a spolupracovníkům, kteří se na výzkumu a vývoji podíleli. V neposlední řadě děkuji všem pacientům, kteří byli nepostradatelnými členy výzkumných týmů.

.....
MUDr. Markéta Janatová

ABSTRAKT

Hodnocení efektu terapie s využitím vyvíjeného interaktivního systému pro trénink stability

Pro optimální efektivitu rehabilitace motorického deficitu u neurologických pacientů je zapotřebí pravidelný motorický trénink. Bez přímého dohledu terapeuta však mohou pacienti provádět trénink nesprávně, což může vést k dalším komplikacím.

Cílem disertační práce je výzkum, návrh a experimentální vývoj systému pro terapii poruch rovnováhy s využitím tenzometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby a ověření využitelnosti tohoto systému v klinické praxi.

V disertační práci je popsán vývoj rehabilitačního systému od návrhu a testování různých variant terapeutických scén až po vytvoření zdravotnického prostředku Homebalance MA, určeného pro ambulantní i distanční terapii poruch rovnováhy. Na základě analýzy výsledků pilotních studií je ověřena bezpečnost a klinická účinnost vytvořeného zdravotnického prostředku, který nachází uplatnění v klinické i vědecké praxi.

Klíčová slova

Audiovizuální zpětná vazba, tenzometrická plošina, posturální stabilita

ABSTRACT

Evaluation of the effect of therapy based on newly developed interactive system for balance training

Regular motor training is required for optimal effectiveness of rehabilitation in neurological patients. However, without direct supervision of a therapist patients may perform the training incorrectly. This can possibly lead to further complications.

The aim of the doctoral thesis is research, design and experimental development of a system for therapy of balance disorders utilizing a combination of force plate and audiovisual feedback accompanied by verification of applicability of this system in clinical practice.

The thesis discusses and thoroughly describes all important steps involved in the process of design, development and verification of such device from clinical point of view. Such steps include principally (but are not limited to) primordial design and testing of various types of therapeutic scenes, incorporation into Homebalance MA medical device development, analyses of pilot studies results and verification of safety and clinical performance of such device.

Keywords

audiovisual feedback, force plate, postural stability

Obsah

1.	Úvod	3
2.	Současný stav problematiky	4
2.1	Posturální stabilita	4
2.2	Tenzometrická plošina	6
2.3	Audiovizuální zpětná vazba	7
2.4	Terapie poruch rovnováhy	9
3.	Cíle a hypotézy disertační práce	11
4.	Vlastní práce zaměřená na stanovené cíle	12
4.1	Výběr a testování hardwarových komponent	14
4.1.1	Nintendo Wii Balance Board	14
4.1.2	Srovnání tenzometrických plošin	15
4.1.3	Produkční test pro ověření správné funkce plošiny	17
4.1.4	Zařízení pro analýzu dat a zpětnou vazbu	20
4.1.5	System pro vícebodové sledování fyzické aktivity	22
4.2	Vývoj a testování zpětnovazebných scén	23
4.2.1	Experimentální protokol pro testování scén	23
4.2.2	Virtuální scény pro stereoskopickou projekci	26
4.2.3	Komplexní virtuální scény	32
4.2.4	Vývoj terapeutických scén pro domácí terapii	37
4.2.5	Monitoring fyziologických funkcí při testování scén	45
4.3	Zdravotnický prostředek Homebalance MA	47
4.3.1	Nastavení terapie v domácím prostředí	48
4.3.2	Terapeutické herní scény Homebalance MA	50
4.3.3	Editor pro úpravu scén	50

4.3.4	Referenční meze monitoringu u zdravé populace	54
4.3.5	Testování Homebalance MA při skupinové terapii	55
4.3.6	Uplatnění Homebalance MA v širší praxi	58
5.	Diskuse	60
6.	Závěr	70
	Seznam zkratek	71
	Seznam tabulek	72
	Seznam obrázků	73
	Citovaná literatura	75

1. Úvod

V důsledku poruch rovnováhy dochází k funkčnímu deficitu v aktivitách běžného denního života i ke zvýšení rizika pádů, které mohou zapříčinit vážné zdravotní komplikace. Jednou z metod využívaných pro rehabilitaci poruch rovnováhy je motorický trénink s využitím tenzometrické plošiny, která snímá průmět polohy těžiště pacienta. Tenzometrická plošina nachází uplatnění v objektivní diagnostice a v terapii poruch rovnováhy.

Při terapii na tenzometrické plošině je pacientovi poskytována nejčastěji audiovizuální zpětná vazba, která umožňuje uvědomit si a následně korigovat provedení pohybových vzorců. Diagnostika s využitím tenzometrické plošiny může být efektivním doplňkem konvenčních diagnostických přístupů a standardizovaných testů.

V průběhu rehabilitačního procesu je klíčové vytvořit individuální plán pro každého pacienta tak, aby bylo dosaženo maximálního funkčního zlepšení. Největší limitací v ambulantním režimu je zpravidla nižší četnost terapií. Pravidelné cvičení je přitom nezbytnou podmínkou úspěšného rehabilitačního procesu.

Efektivním doplňkem ambulantní rehabilitační intervence je pravidelná domácí terapie, prováděná pacientem samostatně. Vzhledem k absenci terapeuta však může být terapie prováděna nesprávně. Využití nefyziologických pohybových vzorců při samostatném cvičení může rehabilitační proces zpomalit, nebo i způsobit zdravotní komplikace.

Vzhledem k nutnosti dlouhodobé neurorehabilitace může u pacientů v chronickém stádiu po poškození mozku s přetrvávajícím funkčním deficitem postupně ubývat motivace k pravidelnému cvičení. Využití technických prostředků s audiovizuální zpětnou vazbou může pomoci při kontrole správnosti provádění cvičení, monitoringu četnosti a úspěšnosti terapie i ke zvýšení motivace pacienta.

Cílem disertační práce je výzkum, návrh, experimentální vývoj a ověření využitelnosti interaktivního systému pro terapii poruch rovnováhy. Vytvořené technické řešení by mohlo pomoci zvýšit efektivitu rehabilitačního procesu.

2. Současný stav problematiky

V posledních letech byla vypracována řada zahraničních studií, zaměřených na diagnostiku a terapii s využitím tenzometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby. Při monitoringu byly v některých studiích využity také senzory fyziologických funkcí. V následujícím textu budou objasněny základní pojmy týkající se disertační práce a výsledky vědeckých studií na toto téma.

2.1 Posturální stabilita

Posturální stabilita je komplexní motorická dovednost zajištěná interakcí senzomotorických procesů, která umožňuje trvalé zaujímání stabilní polohy těla. Je založena na interpretaci konvergentních sensorických informací ze somatosenzorického, vestibulárního a vizuálního systému v měnícím se poměru v závislosti na vnějších vlivech [1]. Posturální orientace umožňuje aktivní nastavení segmentů těla v závislosti na gravitačním poli, vlastnostech vnějšího prostředí a informacích z receptorů. Posturální stabilita zajišťuje koordinaci pohybových strategií a stabilizaci [2].

Souhra statických a dynamických dějů je zajišťovaná rovnovážným systémem, který je složen ze tří složek: sensorické (zejména zrak, vestibulární aparát, propiocepce), motorické (pohybový aparát) a řídicí (centrální nervový systém). K zajištění rovnováhy je potřeba správná funkce všech těchto složek i jejich koordinace. Stabilita závisí na mnoha faktorech, mezi které patří velikost a kvalita opěrné plochy, výška těžiště nad opěrnou bází, hmotnost, rozsah pohybů v kloubech, funkce centrálního nervového systému, psychika, svalová síla, kvalita sensorických informací i vliv vnitřního prostředí lidského organismu [3].

Na udržení posturální stability má významný vliv také aktuální psychický stav pacienta. Psychická tenze a strach z nezvládnutí obtížné situace může u pacientů zvýšit spasticitu a také u zdravých jedinců může způsobit nadměrné svalové napětí, které negativně ovlivňuje potřebnou koordinaci [4]. Zhoršení stability může být také jedním ze symptomů deprese a dalších psychiatrických onemocnění [5]. Hillman et al. detekovali zvýšenou posteriorní výchylku těžiště u žen a anteriorní výchylku těžiště u mužů v reakci na emočně negativně působící vizuální podněty [6]. Azavedo et al. zaznamenali snížení výchylek těžiště a tepové frekvence u mužů při sledování velmi nepříjemné vizuální scény [7].

K udržování rovnováhy jsou využívány různé strategie. Hlezenní strategie zajišťuje rovnováhu při malých výchylkách na pevném povrchu zejména v anteroposteriorním směru. Kyčelní strategie je využívána v případě potřeby rychlých větších změn polohy těžiště a převažuje v mediolaterálním směru. Při krokové strategii je zajištěno udržení rovnováhy změnou polohy dolních končetin, která zajistí udržení průmětu polohy těžiště do opěrné báze. V případě, že ani tato dynamická strategie nezajistí udržení posturální stability, je vestibulárním aparátem zvolen program řízeného pádu [2].

Zatímco v průběhu ontogeneze dochází u dětí k postupnému zlepšení rovnovážných schopností, u osob vyššího věku se stabilita zpravidla postupně zhoršuje. K poruchám rovnováhy dochází v průběhu stárnutí organismu z více příčin. Mezi tyto příčiny patří multisenzorický deficit, svalová slabost, ortopedické komplikace a zhoršení kognitivních funkcí. Pro zlepšení rovnováhy v případě deficitu jedné z potřebných složek jsou využívány kompenzační mechanismy v závislosti na etiologii poruchy rovnováhy a kvalitě zachovaných funkcí [2].

V rámci geriatrického syndromu dochází ke snížení limitů stability a zvýšení rizika pádů [8]. Mezi rizikové faktory pádů patří porucha rovnováhy, snížená schopnost sebeobsluhy, neglect syndrom a deprese. Kombinace těchto symptomů se může vyskytovat u pacientů po poškození mozku, u nichž se incidence pádů v prvních šesti měsících po propuštění z nemocnice pohybuje v závěrech různých studií mezi 37 % až 73 % [9]. U pacientů v chronickém stádiu po cévní mozkové příhodě delším než 10 let bylo zjištěno více než dvakrát větší riziko pádu než u zdravé populace ve stejné věkové kategorii [10].

Pády mohou způsobit zdravotní komplikace, jako jsou fraktury a úrazy hlavy. Další komplikací může být hypotermie a dehydratace z důvodu neschopnosti znovu vstát, k čemuž po pádu dochází u 20-30 % pacientů po cévní mozkové příhodě [9].

Poruchy rovnováhy a riziko pádu je v praxi možné kvantifikovat s využitím standardizovaných testů, například Berg Balance Scale (BBS), Timed, Up and Go Test (TUG), BESTest a Tinetti Mobility Test. Vyšší senzitivita a specifita je při jejich využití v kombinaci technickými prostředky [9]. Typ použitých vyšetřovacích metod je na různých pracovištích velmi variabilní [11]

2.2 Tenzometrická plošina

Tenzometrická plošina může být statická nebo pohyblivá. Obsahuje nejčastěji tři nebo čtyři tenzometry, které umožňují měření jednotlivých složek a momentů tlakových sil. Z těchto hodnot je možné vypočítat polohu působišť výsledné tlakové síly, tzv. Center of Pressure (CoP), která je určena souřadnicemi v anteroposteriorním a mediolaterálním směru [12].

V diferenciální diagnostice poruch rovnováhy je nejčastěji hodnocen stoj za různých podmínek (Obr. 1). Plošina může být při měření stoje statická nebo pohyblivá, proband může mít zavřené nebo otevřené oči, pod chodidly může být umístěna pevná nebo pěnová podložka atd. Dostupné technické systémy s tenzometrickou plošinou mají dostatečně vysokou vzorkovací frekvenci a při pravidelné kalibraci i velmi vysokou přesnost. Doporučená přesnost těchto přístrojů pro využití v objektivní diagnostice je $\pm 0,1$ mm a vzorkovací frekvence vyšší než 40 Hz [13]. S touto vzorkovací frekvencí je možné systémy využít například v diferenciální diagnostice ortostatického tremoru s typickým vrcholem v pásmu mezi 12-18 Hz [12].

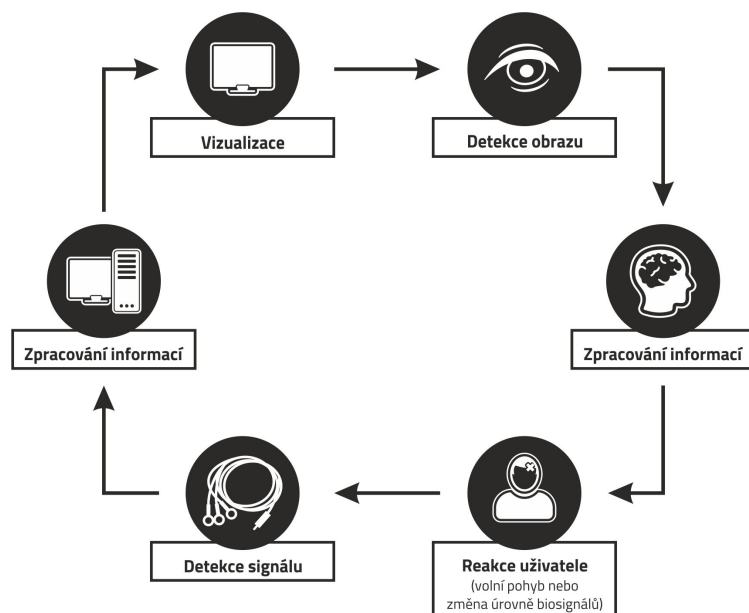


Obrázek 1 Stoj na tenzometrické plošině

Při posturografickém vyšetření se objevuje interpersonální i intrapersonální variabilita výsledků měření, což může mít negativní vliv na test-retest reliabilitu i na výpovědní hodnotu posturografického vyšetření v diferenciální diagnostice [14]. Gørliz et al. ve své studii uvádí, že jednotlivé měření stoje na posturografické plošině nemusí být dostatečné k zajištění test-retest reliability a ke snížení chyby měření doporučuje 2-5 opakování při každém vyšetření [15].

2.3 Audiovizuální zpětná vazba

Při tréninku na tenzometrické plošině je obvykle využívána audiovizuální zpětná vazba. Pacientovi je při zpětné vazbě prezentována vizualizace působení vektoru reakční síly podložky, který závisí na poloze jeho těžiště (Obr. 2).



Obrázek 2 Schéma zpětné vazby

Vizuální zpětná vazba poskytuje pacientovi v reálném čase informaci o aktuálním plnění zadané terapie. Na zobrazovacím zařízení je počítačem promítána vizualizace, například tréninková herní scéna. Na tyčinky a čípky na sítnici oka pozorovatele se obraz dostane ve formě elektromagnetického vlnění. V těchto receptorech je signál z té části spektra vlnění, která je lidským okem viditelná, transformovaný na elektrické impulsy, které jsou nervovou soustavou vedeny do mozku. V sensorické kůře mozku je signál zpracován a na základě výsledné interpretace dojde k vědomé nebo nevědomé reakci organismu [16].

Auditivní složka audiovizuální zpětné vazby funguje na stejném principu jako vizuální. Detekováno a převedeno na akční potenciál je v tomto případě mechanické (akustické) vlnění ve slyšitelném spektru.

Díky audiovizuální zpětné vazbě získává pacient přesnější informaci o probíhajících procesech a učí se je efektivně ovlivňovat. Výhodou motorického učení s vhodně zvolenou zpětnou vazbou ve formě herních scén je aktivace limbického systému a zvýšení motivace k pravidelnému cvičení [17].

Terapie s využitím audiovizuální zpětné vazby s herním principem je pacienty dobře tolerována. Wuest et al. uvádí statisticky významné zlepšení po terapii s audiovizuální zpětnou vazbou v testech BBS, TUG a Short Physical Performance Battery u osob vyššího věku s diagnostikovaným rizikem pádů [18]. Rooij et al. na základě review literatury z roku 2016 uvádí, že kombinace využití virtuální reality na principu audiovizuální zpětné vazby s konvenční terapií má u pacientů po cévní mozkové příhodě větší efekt na zrychlení chůze v testu TUG a zlepšení rovnováhy v testu BBS než samostatná konvenční terapie [19]. Juras et al. na základě review literatury uvádí, že při terapii poruch rovnováhy s využitím vizuální zpětné vazby byly detekovány lepší výsledky oproti konvenční terapii, je však zapotřebí více randomizovaných studií s kvalitním designem ke zhodnocení efektu této terapie u pacientů s různým typem neurologického onemocnění [20]. Mohammadi et al. na základě review literatury z roku 2019 také hodnotí kombinaci virtuální reality s konvenční terapií u pacientů po cévní mozkové příhodě jako efektivnější intervenci pro zlepšení rovnováhy, než pokud by byla použita pouze konvenční terapie [21]. Laver et al. na základě review literatury z roku 2017 uvádí, že virtuální realita může být u pacientů po cévní mozkové příhodě přínosná, pokud je použita jako doplněk konvenční terapie, kterým se zvýší počet hodin intervence [22].

V rámci rehabilitačního procesu jsou kromě standardních medicínských přístrojů využívány také pohybové aktivní videohry s audiovizuální zpětnou vazbou a ovladači snímajícími pohyb uživatele nebo průmět polohy těžiště [23]. Jedná se o herní konzole s ovladači obsahujícími senzory pohybu: Xbox s kamerovým systémem Kinect, Nintendo s plošinou Wii Balance Board a PlayStation s kamerou Eye Toy. V pilotních studiích efektu terapie s využitím herních konzolí u seniorů byl pozorován pozitivní vliv hraní videoher na snížení deprese a úzkostí, zlepšení rovnováhy, hybnosti horní končetiny, kognitivních funkcí a kvality života [24, 25]. Pilotní studie s využitím audiovizuální zpětné vazby a plošiny Nintendo Wii Balance Board byly zpracovány také u pacientů s roztroušenou sklerózou, dětskou mozkovou obrnou, parkinsonským syndromem, geriatrickým syndromem a u pacientů po cévní mozkové příhodě [26]. Při použití herních konzolí byl zaznamenán i výskyt úrazů a zdravotních komplikací [27]. Tyto hry není možné využít u pacientů s těžkou disabilitou. Pro zajištění optimální efektivity terapie s využitím těchto herních systémů je nezbytná supervize, instruktáž a cílené vedení terapeutem.

2.4 Terapie poruch rovnováhy

Pro kompenzaci poruch rovnováhy je u pacientů s přetrvávajícím funkčním deficitem v této oblasti klíčová dlouhodobá komplexní rehabilitace. U pacientů s poruchami rovnováhy je její nedílnou součástí terapie zaměřená na kompenzaci tohoto funkčního deficitu, zlepšení kvality života a snížení rizika pádů. Zaměření tréninku rovnováhy je nutné přizpůsobit etiologii onemocnění [2].

Bezpečný stoj a chůze závisí na vzájemné interakci fyziologických mechanismů. V případě multifaktoriálních příčin poruch rovnováhy je nutný interdisciplinární přístup zahrnující fyzioterapii, ergoterapii, ortopedii, farmakoterapeutická a nutriční opatření i řešení psychologických aspektů jako je úzkost, deprese a strach z pádů [9].

V běžné fyzioterapeutické praxi jsou v rámci léčebného procesu zařazovány například prvky senzomotorické stimulace, propioceptivní neuromuskulární facilitace nebo Bobath konceptu. Využívány jsou jednoduché pomůcky jako balanční podložky a nestabilní plochy. V terapii poruch rovnováhy je využíváno také mnoho různých typů přístrojů. Ve vědeckých pracích je zkoumán efekt zdravotnických přístrojů, komerčních herních konzolí i specializovaných technických řešení na principu audiovizuální zpětné vazby, vyvinutých na vědeckých pracovištích [28, 29]. V pilotních studiích byla využita také elektrotaktilní stimulace jazyka, která pacientům poskytovala informaci o náklonu hlavy [30, 31].

Při terapii s tenzometrickou plošinou a audiovizuální zpětnou vazbou zapojuje pacient kyčelní i hlezenní mechanismus pro zajištění posturální stability a dostává okamžitou zpětnou vazbu o správnosti pohybových strategií. Při malém rozsahu pohybu v centrálních pozicích je posilován hluboký stabilizační systém, při umístění zadaných pozic v krajních polohách dochází k postupnému zvýšení a laterolaterální symetrizaci rozsahu limitů stability [17].

Po konvenční fyzioterapii v kombinaci s terapií s využitím zpětné vazby a tenzometrické plošiny při nácviku rytmického přenášení váhy byla ve studii u hemiplegických pacientů zaznamenána nižší incidence pádů a zlepšení stability v dynamických úlohách s udržitelností efektu terapie, která byla potvrzena i po šesti měsících od ukončení intervence. Efekt terapie byl větší než u kontrolní skupiny, která podstoupila pouze konvenční fyzioterapii [32]. Po nácviku rovnoměrného rozložení váhy a mobility zaměřené na sed a stoj s využitím tenzometrické plošiny a vizuální zpětné vazby bylo u pacientů s hemiparézou diagnostikováno zlepšení v laterolaterální

distribuci váhy. Incidence pádů v průběhu šesti měsíců byla nižší než v kontrolní skupině [33].

Na principu využití tenzometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby je založena terapie s využitím systémů vyvíjených vědeckými týmy pro specifické účely a spektrum pacientů. V zahraničí byly v rámci vědeckých projektů vytvořeny například systémy Easy Balance Virtual Rehabilitation eBaViR [34] a The Intelligent Game Engine for Rehabilitation IGER [35]. V této disertační práci je popsán námi vytvořený zdravotnický prostředek Homebalance MA [36]. U všech těchto systémů byly zpracovány pilotní studie využitelnosti a efektivity terapie. Pro detekci průmětu polohy těžiště je ve všech třech případech využita audiovizuální zpětná vazba a tenzometrická plošina Nintendo Wii Balance Board (WBB).

3. Cíle a hypotézy disertační práce

Cílem disertační práce je výzkum, návrh a experimentální vývoj systému pro terapii poruch rovnováhy s využitím tenzometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby a ověření využitelnosti tohoto systému v klinické praxi.

Dílčí cíle jsou:

1. Návrh a testování technického řešení pro snímání polohy těžiště.
2. Experimentální vývoj a testování scén pro audiovizuální zpětnou vazbu.
3. Vývoj a zdravotnická certifikace finální verze terapeutického systému.
4. Ověření využitelnosti zdravotnického prostředku v běžné klinické praxi.

Na základě teoretických východisek jsem stanovila tyto hypotézy, které jsem následně ověřovala:

1. Tenzometrická plošina Wii Balance board má odpovídající parametry pro bezpečnou a účinnou aplikaci v terapii poruch rovnováhy.
2. Monitoring biotelemetrickým systémem v průběhu tréninku s audiovizuální zpětnou vazbou umožňuje hodnocení změn psychofyzilogického stavu člověka.
3. Po tréninku rovnováhy na tenzometrické plošině s audiovizuální zpětnou vazbou dochází ke snížení času potřebného k adekvátní změně polohy průmětu těžiště na základě audiovizuálních podnětů.

4. Vlastní práce zaměřená na stanovené cíle

V roce 2009 vznikla na Společném pracovišti biomedicínského inženýrství FBMI ČVUT a 1. LF UK Laboratoř aplikací virtuální reality v rehabilitaci. Podílela jsem se na vytvoření této laboratoře a po jejím vzniku jsem pracovala v interdisciplinárním týmu, ve kterém bylo mojí pracovní náplní navrhovat koncept vyvíjených technických prostředků pro neurorehabilitaci s využitím audiovizuální zpětné vazby tak, aby byly využitelné v terapeutické praxi a testovat vyvíjené systémy ve spolupráci s lékaři, fyzioterapeuty a pacienty.

Na základě zkušeností z testování vyvíjených technických řešení a podnětů od zdravotnických pracovníků i pacientů jsme se rozhodli vytvořit zdravotnický prostředek pro terapii poruch rovnováhy, který bude využitelný nejen v laboratoři, ale také ve zdravotnických zařízeních a v domácím prostředí pacientů. Technické řešení jsme navrhli s důrazem na efektivitu, mobilitu, uživatelskou přívětivost a bezpečnost při zachování cenové dostupnosti.

V této kapitole je popsán postupný proces výzkumu a experimentálního vývoje v oblasti využití audiovizuální zpětné vazby v terapii poruch rovnováhy od počátku naší činnosti v této oblasti až po vznik a ověření bezpečnosti a účinnosti zdravotnického prostředku Homebalance MA. Na výzkumu a experimentálním vývoji jsem se podílela ve všech fázích, od návrhu a testování systému přes zdravotnickou certifikaci po úspěšný transfer technologie do klinické praxe.

Dílejší výsledky výzkumu jsem průběžně publikovala jako prvoautorka nebo spoluautorka formou 5 impaktovaných článků, 3 recenzovaných článků, 2 kapitol v knize a 20 příspěvků ve sbornících z vědeckých konferencí.

Ochrana duševního vlastnictví

Mezi výsledky naší činnosti v oblasti výzkumu, návrhu a experimentálního vývoje technických řešení pro komplexní neurorehabilitaci patří 1 patent a 4 užité vzory, ve kterých jsem součástí autorského týmu:

- patent č. 306895 Biotelemetrický systém pro podporu monitorování psychofyziologického stavu člověka,
- užité vzor č. 28017 Systém pro vícebodové sledování fyzické aktivity,
- užité vzor č. 31088 Zařízení na vyhodnocování standardizovaných motorických testů,
- užité vzor č. 33788 Zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zejména pro použití v domácím prostředí,
- užité vzor č. 36008 Systém pro distanční terapii a rehabilitaci parézy lícního nervu.

Patenty a užité vzory se týkají výsledků našich vědeckých a výzkumných aktivit zaměřených na terapii a monitoring pacientů. Poslední z uvedených užitéch vzorů „Systém pro distanční terapii a rehabilitaci parézy lícního nervu“ rozšiřuje námi vyvíjená technická řešení pro neurorehabilitaci pacientů po poškození mozku kromě terapie poruch rovnováhy i na terapii parézy lícního nervu a parézy horních končetin, přičemž umožňuje také vzdálenou telerehabilitační intervenci.

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

36 008

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G16H 20/30 (2018.01)

G16H 80/00 (2018.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-39544**

(22) Přihlášeno: **31.12.2021**

(47) Zapsáno: **10.05.2022**

(73) Majitel:
Univerzita Karlova, Praha 1, Staré Město, CZ

(72) Původce:
MUDr. Markéta Janatová, Černolice, CZ
Ing. Martin Vítězník, Praha 5, Stodůlky, CZ
Ing. Radim Kliment, Ph.D., Praha 4, Modřany, CZ
doc. Ing. Karel Hána, Ph.D., Praha 10, Vršovice, CZ
Ing. Pavel Smrčka, Ph.D., Praha 6, Sřešovice, CZ
prof. MUDr. Marcela Grünerová Lippertová, Ph.D., Köln, DE
Mgr. Markéta Blažková, Řitka, CZ

(74) Zástupce:
MACHU IP | patentová kancelář, Mgr. Matěj Machů, Ph.D., Václavské náměstí 804/58, 110 00 Praha 1, Nové Město

(54) Název užitého vzoru:
System pro distanční terapii a rehabilitaci parézy lícního nervu

CZ 36008 U1

Systém pro distanční terapii a rehabilitaci parézy lícního nervu

Oblast techniky

5

Technické řešení spadá do oblasti elektronických terapeutických a rehabilitačních pomůcek a technologií v oblasti lékařství a péče o pacienty.

Dosavadní stav techniky

Paréza lícního nervu (nervus facialis) je jednou z nejčastějších paréz postihujících člověka. Lícní nerv inervuje motorické svaly obličeje a paréza lícního nervu má výrazný negativní vliv na schopnost osoby vyjádřit mimiku obličeje. Dále má negativní vliv například na oční ústrojí, kdy nedovřené oční víčko způsobuje vysychání oční sliznice. V mnoha případech dochází ke zhoršení artikulace řeči, toto má za následek zhoršenou srozumitelnost mluveného projevu a výsledkem je zhoršení komunikačních schopností daného jedince.

V současné době existují technické prostředky pro podporu a hodnocení rehabilitačního procesu, ty jsou však zpravidla konstruovány jako pevné vybavení rehabilitační ordinace. Jedná se o prostředky pro podporu obecných terapeutických metod. Jako příklad je možno uvést rehabilitační pomůcky založené na principu zrcadlové terapie. Dále se jedná o terapii vedenou terapeutem, kde pacient je instruován k provádění specifických cviků. Terapeut následně přímo hodnotí provedení určených cviků a na základě dosažených výsledků dále mění parametry terapie. Rehabilitační procedury a cvičení bývají předepisovány s opakováním i několikrát týdně a konkrétní procedura trvá zpravidla řádově desítky minut.

Nevýhodou dosavadního stavu techniky je především nepřenositelnost systému, která vyplývá právě z principu osobní kontaktní interakce pacient-terapeut v rehabilitační ordinaci. Tento současný způsob použití podpůrných prostředků pro rehabilitaci a způsob provádění rehabilitace je zvláště nevhodný v případě, kdy je mobilita pacienta nebo možnost jeho osobní docházky na terapii do jisté míry omezena ať již z důvodu zdravotního stavu, nebo jiných objektivních okolností.

Další nevýhodou současného řešení problematiky je nutnost pacienta docházet na místo rehabilitačního pracoviště, kde jsou dostupné výše uvedené pomůcky a přítomen zdravotnický personál. Přesun tohoto charakteru může vést ke zvýšené únavě či vyčerpání pacienta, následkem je nižší účinnost rehabilitačního procesu. V neposlední řadě také zvýšení nároků na čas při cestování snižuje efektivitu celého procesu.

Podstatným nedostatkem stávajících řešení je nízká frekvence rehabilitačních cvičení a nízká motivace pacienta v období mezi návštěvami specializovaného pracoviště. Dalším podstatným nedostatkem je absence možnosti vyhodnotit průběh cvičení pomocí algoritmů aplikovaných do příslušného programového vybavení.

Mezi zařízení vhodná pro objektivní hodnocení rehabilitačního procesu můžeme řadit například systém MediTutor, obsahující moduly pro rehabilitaci hlavy, trupu, horní a dolní končetiny. Jedná se o přenosný systém umožňující vzdálený dohled nad rehabilitačním procesem v případě, kdy je systém využit pro domácí doléčení a rehabilitaci.

Žádný ze současně dostupných systémů však neumožňuje sledovat a hodnotit pacienta při provádění rehabilitačních cvičení konkrétně a cíleně podporujících terapii obrny lícního nervu.

Podstata technického řešení

Podstata technického řešení spočívá v systému složeném ze dvou subsystémů, a to z patientského subsystému, který zahrnuje mobilní zobrazovací zařízení, kterým může být typicky tablet či mobilní telefon vybavený kamerou, ať již integrovanou nebo samostatnou, a příslušným terapeutickým a rehabilitačním programovým vybavením, umístěné na polohovatelném stojanu pro umístění před tvář pacienta, a dále složeného ze subsystému k podpoře terapie, kterým je vzdálený počítač bezdrátově připojený k tabletu, ať již na lokální síti či prostřednictvím internetu pro monitoring a vyhodnocování terapie a rehabilitace. Tímto jsou překonány nedostatky stavu techniky. Terapie probíhá tak, že pacient sedí u obrazovky tabletu a plní zadání zaměřené na terapii poruchy hybnosti levé nebo pravé poloviny části obličeje. Pacientům, kteří mají sníženou hybnost levé poloviny obličeje, je zobrazen pohyb pravé poloviny obličeje tak, že se jim jeví jako strana levá, postižená. Programové vybavení tabletu tedy provádí horizontální překlopení obrazu snímaného kamerou.

Pacientský subsystém poskytuje funkcionality podporující aktivizaci alespoň v oblasti obličeje, s výhodou všech oblastí inervovaných lícím nervem; dále evaluaci aktivit pacienta, přičemž subsystém se vyznačuje tím, že umožňuje poskytnout i funkce pro terapii poruch rovnováhy, dále se vyznačuje tím, že zahrnuje ovládání na principu vizuální zpětné vazby. S výhodou je tento subsystém navržen a konstruován tak, aby byla zajištěna snadná transportovatelnost. Tento subsystém je typicky využíván pacientem s výhodou v prostředí dle jeho volby, a to například při takzvané rehabilitaci v domácím prostředí je tento subsystém umístěn v domácnosti pacienta.

Pacientský subsystém jako celek je konstruován takovým způsobem, aby jej bylo možno ve snadné formě transportovat a aby pro instalaci tohoto systému v domácím prostředí pacienta nebyly nutné žádné stavební či jiné významné úpravy.

Subsystém pro podporu terapie poskytuje přímou podporu a evaluaci průběhů terapie sloužící k rehabilitaci pacienta. Jedná se o vzdálený počítač, typicky v podobě osobního, nebo jakéhokoliv jiného počítače jako je příkladně server, či také laptop, smartphone, tablet nebo výpočetní modul, schopného umožnit běh příslušného programového vybavení.

S výhodou tento subsystém umožní retrospektivní evaluaci průběhu terapie z videozáznamu cvičení pořízeného pomocí patientského subsystému. Dále může tento subsystém zahrnovat implementaci metodiky s výhodou založené na algoritmech například strojového učení nebo umělé inteligence pro vyhodnocování obrazových dat, sloužící pro výpočet parametrů popisujících průběh prováděné terapie a sledování těchto parametrů.

Subsystém pro podporu terapie dále typicky obsahuje modularitu nezbytné pro zpětnou komunikaci s pacientem, a to synchronní (v průběhu terapeutické jednotky) nebo asynchronní (nezávisle na průběhu terapeutické jednotky). S výhodou je tato komunikace vedena ve formě videohovoru terapeutem. Terapeut má možnost sledovat cvičení online v reálném čase, nebo zpětně kvalitativně hodnotit progres pacienta, individuální zlepšení symetrie pohybu mezi pravou a levou částí obličeje a kontrolovat četnost a úspěšnost domácích terapií. Na základě tohoto monitoringu je možné vzdáleně upravovat zaměření a obtížnost terapie, čímž se sníží četnost nutných návštěv ambulantního zařízení.

Podstatnou funkcionalitou popsaného systému je možnost individualizace terapeutického plánu, založená na monitoringu průběžných parametrů, zaznamenaných v průběhu předchozích terapeutických cvičení. Další podstatnou výhodou je možnost automatizovaného odesílání informací o zhoršení průběžného výkonu anebo vynechání domácí terapeutické jednotky. Podstatnou výhodou je taktéž funkcionalita automatizované podpory vytvoření závěrečné zprávy z terapie.

55

Objasnění výkresů

Na obrázku 1 je vyobrazeno schematické znázornění struktury a hlavních částí popsaného systému pro distanční terapii parézy lícního nervu.

5

Příklady uskutečnění technického řešení

Příklad 1

10

Příklad popisuje základní sestavu systému, která sestává ze dvou subsystémů, přičemž první z nich je patientský subsystém zahrnující mobilní zobrazovací zařízení 3 v podobě tabletu se softwarem pro distanční zrcadlovou terapii parézy lícního nervu vybaveném komunikačním datovým rozhraním, přičemž mobilní zobrazovací zařízení 3 je umístěno na polohovatelném stojanu. Patientský subsystém dále zahrnuje kameru 1 a nástavec pro korektní umístění obličejové části hlavy pacienta 2 tak, aby jeho obličej směřoval ve vhodném terapeutem zvoleném úhlu vůči kameře 1 a mobilnímu zobrazovacímu zařízení 3. Druhým je subsystém pro podporu terapie, který je tvořen vzdáleným počítačem 4. Patientský subsystém je bezdrátově spojen se subsystémem pro podporu terapie prostřednictvím komunikačního datového rozhraní mobilního zobrazovacího zařízení 3 a komunikačního datového rozhraní vzdáleného počítače 4.

20

Příklad 2

Příklad popisuje rozšířenou sestavu systému, který nad rámec dílčích komponent a v jejich vzájemném spojení uvedeném v příkladu č. 1, dále zahrnuje oční senzor připojený k mobilnímu zobrazovacímu zařízení 3 pro ovládání programového vybavení mobilního zobrazovacího zařízení 3 pohybem očí pacienta 2 s poruchou motoriky rukou, a dále zahrnuje elektromyografické senzory připojené k mobilnímu zobrazovacímu zařízení 3 pro sledování myopotenciálů v oblasti svalů inervovaných lícním nervem, a dále zahrnuje náhlavní kameru umístěnou na hlavě pacienta 2 pro záznam pohybu ruky při kombinované terapii obličejových svalů a svalů ruky, dále zahrnuje senzor pro detekci pohybů ruky v průběhu kombinované terapie.

30

Průmyslová využitelnost

35

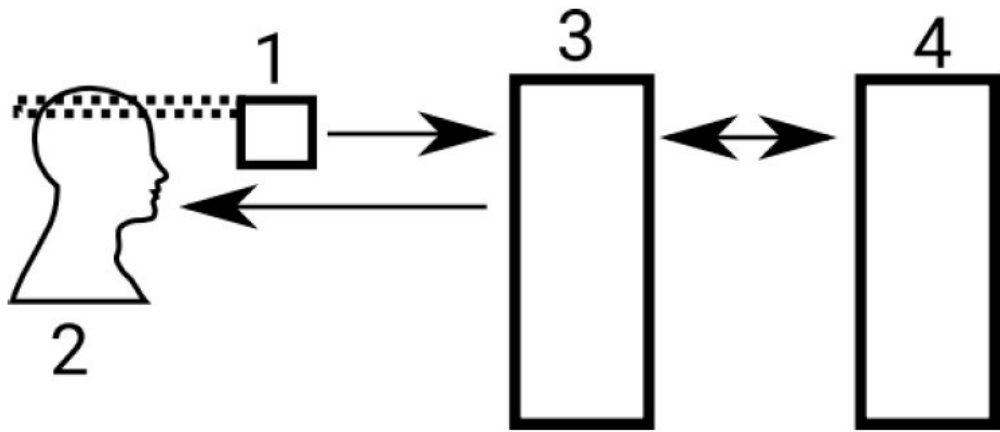
Systém pro distanční terapii a rehabilitaci parézy lícního nervu je využitelný v lékařství pro zvýšení efektivity terapie.

NÁROKY NA OCHRANU

- 5 1. Systém pro distanční terapii a rehabilitaci parézy lícního nervu, **vyznačující se tím**, že zahrnuje patientský subsystém zahrnující mobilní zobrazovací zařízení (3) vybavené komunikačním datovým rozhraním, přičemž mobilní zobrazovací zařízení (3) je umístěno na polohovatelném stojanu a přičemž je k mobilnímu zobrazovacímu zařízení připojena kamera (1) pro záznam obličeje pacienta (2), a dále zahrnuje subsystém pro podporu terapie, který je tvořen vzdáleným počítačem (4) vybaveným komunikačním datovým rozhraním s tím, že vzdálený počítač (4) je prostřednictvím datového komunikačního rozhraní spojen s mobilním zobrazovacím zařízením (3).
- 10
2. Systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že zahrnuje oční senzor připojený k mobilnímu zobrazovacímu zařízení (3) pro ovládání mobilního zobrazovacího zařízení (3) pohybem očí pacienta (2).
- 15 3. Systém podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že zahrnuje elektromyografické senzory připojené k mobilnímu zobrazovacímu zařízení (3) a náhlavní kameru pro záznam pohybu ruky pacienta (2) umístěnou na hlavě pacienta (2), kterážto je připojena k mobilnímu zobrazovacímu zařízení (3).

1 výkres

20



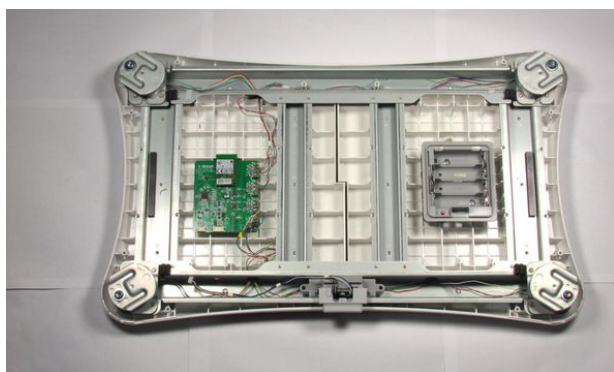
Obr. 1

4.1 Výběr a testování hardwarových komponent

4.1.1 Nintendo Wii Balance Board

Tenzometrickou plošinu jsme jako senzorický vstup pro audiovizuální zpětnou vazbu zvolili z důvodu, že je oproti jiným technickým řešením (plantografická plošina, inerciální senzory, kamerové systémy aj.) relativně cenově dostupná, jednoduchá na instalaci, spolehlivá a nevyžaduje příliš vysoké odborné technické znalosti při obsluze. V této fázi projektu jsem se podílela na rešerši dostupných řešení a na rozhodnutí o výběru typu plošiny.

Plošinu Nintendo Wii Balance Board jsme vybrali především z důvodu cenové dostupnosti, nízké hmotnosti a kompaktních rozměrů. Tyto vlastnosti byly nezbytné k tomu, aby bylo možné ji využít také v domácím prostředí pacientů. Plošina obsahuje čtyři tenzometrické můstky. Každý z nich je v jednom rohu konstrukce plošiny. Povrch plošiny je vyroben z omyvatelného plastu a konstrukce plošiny je kovová (Obr. 3).



Obrázek 3 Vnitřní uspořádání plošiny Nintendo Wii Balance Board

Plošina je připojena pomocí bezdrátového připojení Bluetooth a je napájena čtyřmi AA bateriemi, takže nehrozí pád pacienta v důsledku zakopnutí o přívodní nebo propojovací kabel. Nosnost plošiny je 150 kg. Hmotnost plošiny je 3,5 kg, což umožňuje snadnou a bezpečnou manipulaci s plošinou v domácím prostředí.

Bartlett ve svém článku uvádí, že přesnost měření plošinou WBB je i při opakovaném testování po dlouhodobém pravidelném zatěžování dostatečná pro využití v terapii i v klinickém hodnocení poruch rovnováhy [37]. Clark et al na základě review literatury i přes variabilitu výsledků hodnocených studií uvádí, že WBB může být využita k hodnocení stability stoje [38].

4.1.2 Srovnání tenzometrických plošin

Pro ověření hypotézy, že plošina WBB má odpovídající parametry pro bezpečnou a účinnou aplikaci v terapii poruch rovnováhy, jsme provedli srovnání této plošiny s tenzometrickou plošinou zdravotnického prostředku Synapsys Posturography System (SPS), který je určen pro využití v klinické praxi.

Průběh měření

Na obou plošinách jsme provedli monitoring posturálních reakcí dvanácti zdravých probandů (průměrný věk 27 let) vždy stejným postupem. Polovina probandů byla vyšetřena nejprve na WBB a poté na SPS, druhá polovina v opačném pořadí. Vyšetření na každé z plošin mělo 4 části, z nichž každá trvala 60 sekund: stoj na pevné podložce s otevřenýma a poté se zavřenýma očima a stoj na pěnové podložce s otevřenýma a poté se zavřenýma očima. Vyšetřované osoby stály vždy ve standardním postoji s patami u sebe a špičkami pod úhlem 30°, což je typ stoje, který je pro měření doporučený výrobcem SPS. Posturální odpověď jsme charakterizovali změnou polohy CoP. Z naměřených výsledků byly vyjádřeny následující stabilometrické parametry: amplituda stranové a předozadní výchylky, délka trajektorie a plocha statokineziogramu. Hodnoty monitoringu na SPS a WBB jsme podrobili statistické analýze.

Výsledky

Při porovnání technických parametrů obou plošin z hlediska použitelnosti pro detekci CoP u pacientů jsme nezjistili žádné významné rozdíly (Tab. 1).

Tabulka 1 Srovnání plošin SPS a WBB

Parametr	SPS	WBB
Počet senzorů	3	4
Váhový limit	130 kg	150 kg
Pohyblivost plošiny	Dynamická	Statická
Rozměry	50 x 50 x 13 cm	55 x 35 x 6 cm
Hmotnost	21,75 kg	3,5 kg

Byly zjištěny pouze nevýznamné odchylky jednotlivých veličin a vysoký korelační koeficient (Tab. 2). Spektrální analýzy jednotlivých testů byly rovněž v korelaci. Vliv pořadí měření nebyl prokázán.

Tabulka 2 Výsledky korelační analýzy

Parametr	Korelační koeficient
Amplituda mediolaterální výchylky	0,93
Amplituda předozadní výchylky	0,89
Délka trajektorie	0,97
Plocha statokineziogramu	0,98

Lze tedy tvrdit, že WBB má srovnatelné parametry jako SPS. Zjištěné rozdíly nemají negativní vliv na bezpečnost a klinickou účinnost hodnocené plošiny za normálních podmínek použití a WBB se tedy jeví jako vhodný prostředek pro využití k terapii a monitoringu posturálních reakcí. Ověřili jsme hypotézu, že plošina WBB má odpovídající parametry pro bezpečnou a účinnou aplikaci v terapii poruch rovnováhy.

Vlastní přínos a publikační výstup

Výsledky jsme prezentovali na konferenci Posture and Gait formou posteru, na kterém jsem se jako spoluautorka podílela při tvorbě designu studie a zpracování publikačního výstupu [39].

4.1.3 Produkční test pro ověření správné funkce plošiny

Každá plošina, uváděná do oběhu jako součást našeho systému, je podrobena tzv. produkčnímu testu pro ověření funkčnosti. Při produkčním testu pro ověření funkce plošiny WBB zatěžujeme senzory v rozích plošiny postupně dvěma stále stejnými závažími. Hmotnost jednoho závaží je 20 kg. Se závažím lze po plošině manipulovat bez dalšího technického vybavení. Měřením jsme ověřili, že vyšší zatížení než 40 kg nemá vliv na přesnost provedení testu. Software pro trénink rovnováhy pracuje s vypočtenými souřadnicemi pozic CoP při zatížení plošiny. Proto sledujeme tyto hodnoty, nikoliv absolutní hodnotu zatížení daného senzoru.

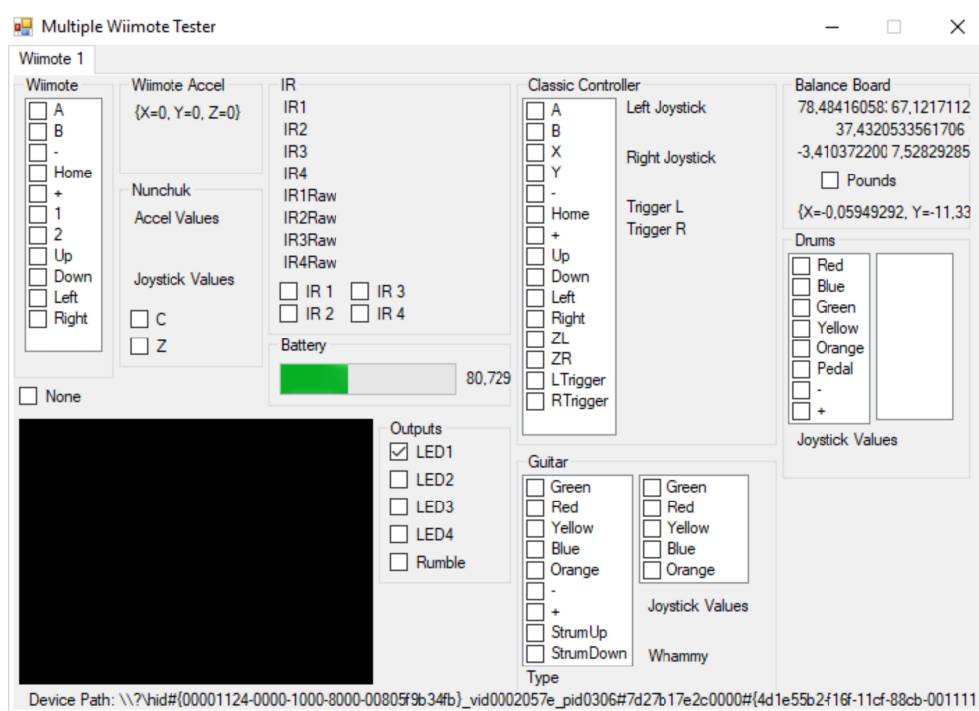
Různou polohou závaží testujeme, zda změny CoP závaží v ose X a ose Y odpovídají vypočtené pozici CoP určené plošinou. Hmotnost závaží, kterou udává plošina, by měla být při všech pozicích stejná. Tolerance rozdílu je do 5 %. Nesledujeme zde absolutní hodnotu hmotnosti, jelikož plošina není určena ke zjišťování hmotnosti pacienta.

Test provádíme pomocí softwaru WiiMote Tester. Produkční test plošiny se provede tak, že se na plošinu položí testovací šablona (Obr. 4). Šablona má na sobě vyznačeno 5 bodů, které jsou očíslovány vzestupně od 1 do 5.



Obrázek 4 První fáze produkčního testu

Test se skládá ze šesti kroků, kdy v každém kroku umístíme na plošinu dvojici závaží na určené body. Závaží vložíme na šablonu do pole s číslem 2 a 5. Počkáme, až se ustálí hodnoty. Hodnoty zapišeme do tabulky. Stejný postup opakujeme s poli 2 a 4, 3 a 5, 2 a 3, 4 a 5. Ze softwaru zapisujeme do protokolu v každém kroku hodnotu souřadnic polohy těžiště a také hmotnost (Obr. 5).



Obrázek 5 Nastavení softwaru WiiMote Tester

Defaultní hodnoty a rozmezí těchto hodnot je uvedeno v tabulce č. 3. Pokud se hmotnost liší od defaultní hodnoty o více než 5 %, tak sledujeme, zda naměřené hodnoty zatížení v jednotlivých krocích jsou ve vzájemném rozptylu do 5 %. Pokud plošina bude udávat hodnoty v očekávaných mezích, prochází produkčním testem a je způsobilá pro daný účel použití.

Tabulka 3 Defaultní hodnoty pro produkční test

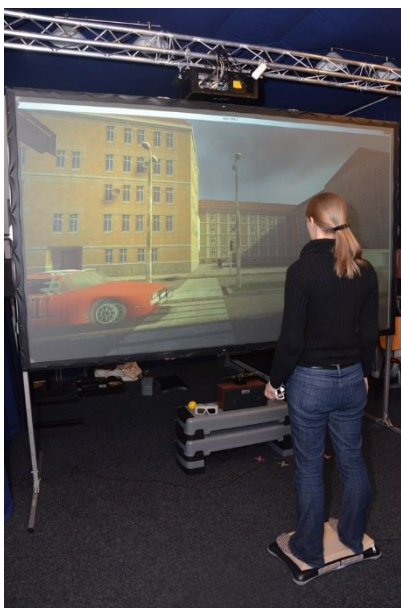
Norma	X	Y	hmotnost
Bod 2 a 5	0	-10	40
Bod 2 a 4	0	0	40
Bod 3 a 4	0	10	40
Bod 3 a 5	0	0	40
Bod 2 a 3	20	0	40
Bod 4 a 5	-20	0	40
Rozptyl +/- 5 %	+/- 2	+/- 1	+/- 2

Od roku 2018 do roku 2022 prošlo produkčním testem 41 plošin. Stejný postup byl znovu proveden při 43 pravidelných bezpečnostně technických kontrolách (BTK). Pouze při jednom produkčním testu byla u plošiny zjištěna nepřijatelná odchylka rozdílu hodnot. Tato plošina s vadným tenzometrem byla vyřazena ještě před kompletací setu.

4.1.4 Zařízení pro analýzu dat a zpětnou vazbu

Laboratorní řešení se zpětnou projekcí

Jako hardwarové řešení pro analýzu signálů a audiovizuální zpětnou vazbu může být využit počítač nebo tablet. V laboratoři aplikací virtuální reality v rehabilitaci jsme v raných fázích vývoje využívali řídicí počítač s tehdy dostatečnými parametry pro zobrazení komplexních virtuálních scén v aktivní stereoskopické projekci (běžný osobní počítač na platformě x86 s čtyřjádrovým procesorem Intel Core 2 Quad se 4 GB operační pamětí typu DDR2 s kmitočtem sběrnice 1066 MHz, grafická karta nVidia Quadro FX 1400, pevný disk s kapacitou 500 GB) a pro zobrazení vizuální zpětné vazby byl využíván projektor DepthQ InFocus (rozlišení obrazu 1024 x 768 pixelů, obnovovací frekvence 120 Hz). Obraz byl promítán na plátno pro zpětnou projekci (Obr. 6). Při zpětné projekci se obraz z projektoru nejprve odrazí na zrcadle u protější stěny, až poté dopadá na plátno.



Obrázek 6 Zpětná projekce při tréninku rovnováhy

Řídící jednotka pro domácí terapii

Pro domácí terapii bylo klíčové vybrat takový hardware, který by byl lehký a přenosný a měl by dostatečné parametry pro zajištění funkce softwaru při zachování co nejlepší cenové dostupnosti. Pro finální verzi systému pro domácí terapii je aktuálně využíván a v technické složce uveden tablet Lenovo Idea Tab Miix300 s operačním systémem Windows 10. Tento tablet splňuje nezbytné parametry při zachování cenové dostupnosti (Tab. 4).

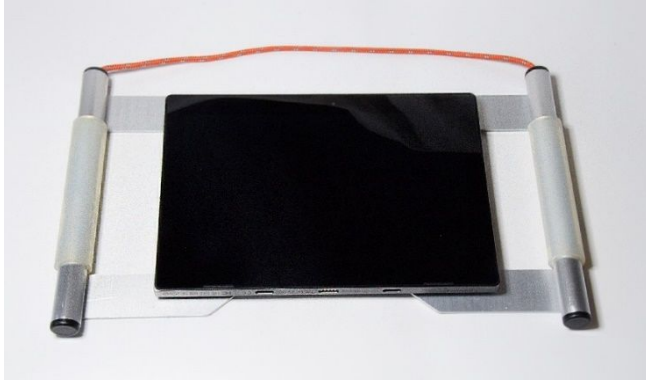
Tabulka 4 Minimální požadavky na tablet

Parametr	Hodnota
Paměťová kapacita (velikost)	32 GB
CPU	Čtyřjádrový Intel Atom
Velikost displeje (velikost)	10,1 palců
Rozlišení obrazovky	1280 x 800 px
Přenos dat (typ)	Bluetooth, Wi-Fi
Propojení s externím monitorem (typ)	HDMI
Čtečka paměťových karet	microSD / SD

Rozměry tabletu jsou 247 mm x 173 mm a hmotnost 360 g. Velikost displeje je dostatečná pro názorné zobrazení a viditelnost scén. Přídavná klávesnice usnadňuje zadávání patientských dat do databáze, provádění exportu dat a další operace.

Zabudovaná čtečka paměťových karet umožňuje export naměřených dat pro další zpracování a archivaci v jiném zařízení.

Tablet je při terapii obvykle používán v kombinaci ergonomickým nástavcem, který jsme navrhli za účelem zavěšení tabletu do výše očí a usnadnění manipulace pacientům s poruchou hybnosti horních končetin (Obr. 7).



Obrázek 7 Tablet s ergonomickým nástavcem

4.1.5 Systém pro vícebodové sledování fyzické aktivity

Pro komplexní monitoring fyzické aktivity a posturální stability jsme navrhli modulární sestavu hardwarových komponent obsahující sensorické vstupy pro sledování pohybu končetin nebo částí těla. Pro zpřesnění diagnostického procesu obsahuje systém větší počet sensorických vstupů, například tenzometry v plošině a akcelerometry v páscích pro umístění na končetiny pacienta. Sensory jsou opatřeny bezdrátovým datovým rozhraním pro propojení do bezdrátové datové sítě. Dále systém obsahuje vyhodnocovací jednotku, opatřenou bezdrátovým datovým rozhraním pro sběr a následnou analýzu signálů ze všech snímačů se společnou časovou osou. Toto technické řešení umožňuje přesnější analýzu pohybových vzorců pacienta a může být přínosné při testování nových terapeutických scén i pro monitoring terapeutického procesu.

Ochrana duševního vlastnictví

Pro výsledky experimentálního vývoje jsme realizovali ochranu duševního vlastnictví formou užitého vzoru č. 28017 Systém pro vícebodové sledování fyzické aktivity.

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

28 017

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

A61N 5/06 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-28704**
(22) Přihlášeno: **30.10.2013**
(47) Zapsáno: **31.03.2015**

- (73) Majitel:
Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta,
Praha 1, CZ
- (72) Původce:
Ing. Karel Hána, Ph.D., Říčany u Prahy, CZ
Ing. Jan Kašpar, Jičín, CZ
MUDr. Markéta Janatová, Praha 10, CZ
Ing. Adam Bohunčák, Plzeň, CZ
doc. MUDr. Jaroslav Jeřábek, CSc., Praha 4, CZ
Ing. Radim Kliment, Praha 4, CZ
Ing. Libor Seidl, Praha 9, CZ
Ing. Radek Fiala, Chotěboř, CZ
doc. Ing. Miloslav Špunda, CSc., Praha 6 - Řepy,
CZ
- (74) Zástupce:
Inventia s.r.o., RNDr. Kateřina Hartvichová, Na
Bělidle 3, 150 00 Praha 5

- (54) Název užitného vzoru:
**Systém pro vícebodové sledování fyzické
aktivity**

CZ 28017 U1

System pro vícebodové sledování fyzické aktivity

Oblast techniky

Technické řešení se týká zařízení pro vícebodové sledování fyzické aktivity, zejména při rehabilitaci.

5 Stav techniky

V současné době navštěvují pacienti trpící postižením pohybového ústrojí, způsobeným např. cévní mozkovou příhodou (CMP), rehabilitační stacionář, kde se věnují intenzivním pohybovým cvičením. Smyslem těchto cvičení je aktivace nových alternativních nervových drah, které by nahradily dráhy poškozené CMP a umožnily pacientovi znovu vládnout postiženým částem těla.

10 Cvičení bývají intenzivní a pacienti při nich stráví ve stacionáři nezdědka i osm hodin denně. Přitom probíhají cviky pod dohledem lékaře či terapeuta. Z organizačních a časových důvodů je terapeut často nucen věnovat se více pacientům zároveň a není tak schopen sledovat každého pacienta individuálně po celou dobu cvičení.

15 Nevýhodou stávajícího stavu je absence stálého dohledu nad pacientem. Správnost prováděných cviků závisí po značnou část cvičení pouze na pacientově pílí, poctivosti a dalších schopnostech.

Další nevýhodou je při značném množství pacientů nemožnost objektivního posouzení individuálního vývoje léčby každého pacienta.

20 Podstatnou nevýhodou stávajícího stavu je chybějící kontrola pacientů při cvičích, které provádí doma. Lékař nyní nepozná, zda pacient doma zadané cviky prováděl, zda je prováděl správně, v náležitém rozsahu a čase.

Podstata technického řešení

Výše uvedené nevýhody a nedostatky mohou být do značné míry odstraněny použitím systému pro vícebodové sledování fyzické aktivity při rehabilitaci. Podstata systému spočívá v tom, že obsahuje alespoň dva senzorické moduly pro snímání pohybů končetin nebo jiných částí těla pacienta, upravené pro rozmístění po těle pacienta a/nebo v diagnostických a terapeutických pomůckách (např. ve stabilometrické plošině, pásku pro upevnění na končetinu, atd.), přičemž 25 uvedené senzory jsou opatřeny bezdrátovými datovými rozhraními pro propojení těchto senzorů do bezdrátové datové sítě, a systém dále obsahuje vyhodnocovací jednotku, opatřenou bezdrátovým datovým rozhraním, pro sběr a následnou analýzu signálů ze všech snímačů se společnou 30 časovou osou.

Senzorických modulů je s výhodou alespoň pět.

Senzorický modul ve výhodném provedení obsahuje akcelerometr, mikrokontrolér a bezdrátové datové rozhraní.

35 Vyhodnocovací jednotka s výhodou obsahuje centrální záznamovou jednotku pro sběr a záznam signálů obsahující bezdrátové datové rozhraní a jednotku pro zpracování a analýzu signálů, již může být například počítač, tablet, smartphone, TV přijímač s datovým rozhraním. Tyto jednotky mohou být propojené kabelem, bezdrátovým datovým rozhraním, nebo může být přenos dat zajištěn jakýmkoliv jiným způsobem, např. prostřednictvím záznamového média.

40 Jedná se o biotelemetrický systém, využívající s výhodou bezdrátovou síť krátkého dosahu (WBAN - Wireless Body Area Network), který může snímat data pomocí rozličných periferních senzorických modulů umístěných např. na končetinách pacienta a/nebo s výhodou umístěných ve cvičicích a rehabilitačních diagnostických a terapeutických pomůckách. Měřená data jsou odesílána pomocí bezdrátového rozhraní krátkého dosahu do centrální záznamové jednotky. Zde jsou data ukládána na paměťové médium nebo přenášena dalším datovým rozhraním v reálném čase

do počítače. Použité datové rozhraní mezi centrální záznamovou jednotkou a počítačem může být bezdrátové, např. Bluetooth, ZigBee, ale i klasické kabelové, např. USB, sériový port aj.

5 Každá z periferních jednotek obsahuje příslušné snímače s digitalizačními obvody. Jejich datové výstupy jsou připojeny na mikrokontrolér. Mikrokontrolér v periferní jednotce plní několik funkcí. V první řadě řízení, ovládání, nastavení a kalibraci senzorů, další zpracování pořízených dat (filtrace, průměrování, komprese apod.), dále ukládání dat získaných ze snímače do datových paketů, obsluhu komunikace po bezdrátovém datovém rozhraní krátkého dosahu a v neposlední řadě ovládání indikační LED.

10 Základní součástí centrální záznamové jednotky je modul pro záznam sériových dat, která přichází přes bezdrátové datové rozhraní krátkého dosahu ze všech periferních jednotek. Dále centrální záznamová jednotka obsahuje napájecí zdroj, akumulátor nebo baterii a/nebo síťový adaptér, obvod pro řízení nabíjení, bezdrátový datový modul krátkého dosahu pro příjem dat z periferních jednotek a bezdrátový datový modul pro komunikaci s počítačem, dále USB rozhraní, popř. sériový port a uživatelské rozhraní (LED, spínač).

15 Monitorovací zařízení je určeno ke sledování a vyhodnocování pohybů končetin nebo částí těla, zejména při cvičení ve stacionárii při rehabilitaci pacientů po cévních mozkových příhodách anebo s poruchami pohybového aparátu. Monitorovací zařízení je dále určeno k záznamu a následnému vyhodnocování pohybů končetin nebo částí těla, zejména při rehabilitačních cvičeních prováděných v domácím prostředí pacienta nebo bez přímého dohledu terapeuta.

20 Přehled vyobrazení

Obr. 1 je schematické znázornění struktury systému pro vícebodové sledování fyzické aktivity při rehabilitaci.

Příklad provedení

25 Jak je z příloženého schématu struktury systému Obr. 1 patrné, sestává realizovaný systém z několika periferních senzorických modulů PSM, centrální záznamové jednotky CZJ a připojeného osobního počítače PC (ten může být nahrazen např. tabletem, smartphonem nebo TV přijímačem se speciálním rozhraním). Každý periferní senzorický modul PSM v tomto konkrétním příkladu provedení obsahuje tříosý digitální akcelerometrický snímač - akcelerometr, řídicí číslicový obvod - mikrokontrolér a bezdrátové rozhraní krátkého dosahu. Centrální záznamová jednotka CZJ obsahuje bezdrátové rozhraní krátkého dosahu, řídicí číslicový obvod - mikrokontrolér, záznamové médium a datová rozhraní pro komunikaci s osobním počítačem PC.

30 Každý periferní senzorický modul PSM je osazen digitálním tříosým akcelerometrem firmy FreeScale MMA7455L s datovým výstupem na sběrnici SPI. Pomocí SPI sběrnice („Serial Peripheral Interface“) je akcelerometr spojen s mikrokontrolérem firmy Microchip PIC18F26J11.

35 Mikrokontrolér plní funkce řízení, ovládání a nastavení akcelerometrického snímače, další zpracování pořízených dat (filtrace, průměrování, komprese), dále ukládání dat získaných ze snímače do datových paketů, obsluhu komunikace po bezdrátovém datovém rozhraní krátkého dosahu a v neposlední řadě ovládání indikační LED.

40 V příkladu provedení technického řešení je jako bezdrátové rozhraní krátkého dosahu využito rozhraní bluetooth třídy 2 s dosahem přibližně 10 m. Osazeny jsou moduly firmy Laird BTM411. Vhodným nastavením modulů v periferních senzorických jednotkách PSM a modulu v centrální záznamové jednotce CZJ je vytvořena hvězdicová struktura bezdrátové datové sítě. Všechny periferní senzorické jednotky PSM střídavě v rezervovaných časech vysílají datové pakety obsahující zpracované signály akcelerometru.

45 Jako základ centrální záznamové jednotky CZJ je použit datalogger Logomatic 2 v2 osazený 32bitovým mikroprocesorem firmy Philips NXP LPC2148. Záznamové médium je tvořeno microSD paměťovou kartou s kapacitou až 2 GB. Pro komunikaci s periferními senzorickými

jednotkami PSM je zde opět bluetooth modul firmy Laird BTM411. Spojení s počítačem je možné pomocí USB rozhraní anebo pomocí druhého bluetooth modulu.

Centrální záznamová jednotka CZJ dále obsahuje Li-Pol akumulátor 1200 mAh jako zdroj napětí (řízené nabíjení akumulátoru zajišťuje nabíjecí obvod, jež je součástí dataloggeru Logimatic v2), vypínací obvod LTC2950-2 a trojici LED jako uživatelské rozhraní.

Součástí systému je pochopitelně také firmware (FW) dvojího druhu. Jeden FW je nahrán v každé z periferních sensorických jednotek PSM, druhý je obsažen v centrální záznamové jednotce CZJ.

Další součástí systému je software pro vizualizaci měřených dat umožňující sledovat jednak surová data, tj. signály všech akcelerometrických snímačů ve všech periferních jednotkách PSM a ve všech třech jejich osách (x, y, z), a jednak dále softwarově zpracované signály. Software umožňuje sledování signálů v reálném čase a též analýzu signálů zaznamenaných centrální záznamovou jednotkou CZJ.

Průmyslová využitelnost

Systém pro vícebodové sledování fyzické aktivity při rehabilitaci je využitelný v lékařství, především při rehabilitaci pacientů. Smyslem systému je nejen sledování pohybové aktivity končetin nebo jejich částí (loket, zápěstí, koleno, kotník), ale i sledování pohybových vzorců a stability pacienta.

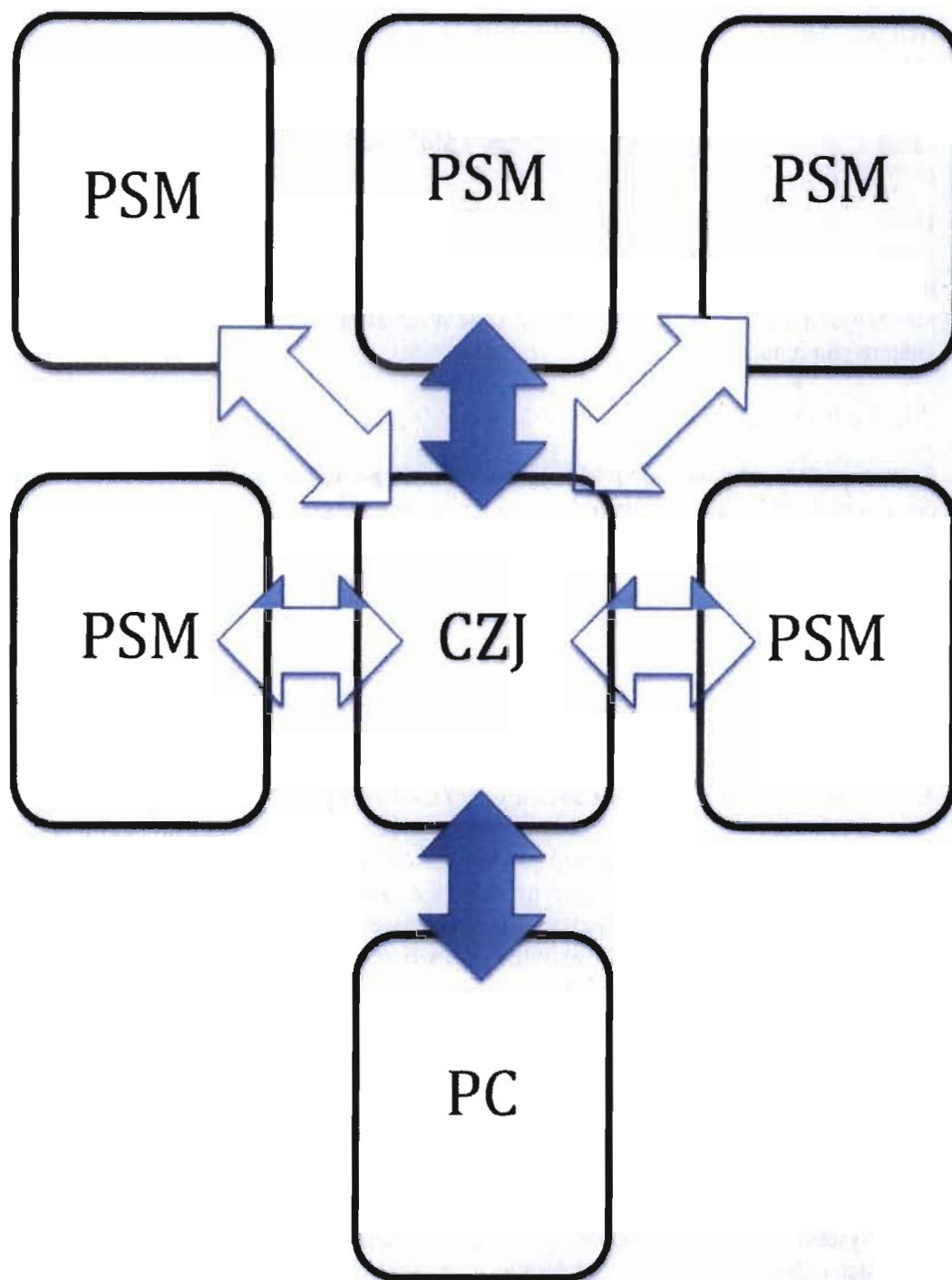
N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Systém pro vícebodové sledování fyzické aktivity při rehabilitaci, **v y z n a ě n ý t í m**, že obsahuje alespoň dva periferní sensorické moduly (PSM) pro snímání pohybů končetin nebo jiných částí těla pacienta, upravené pro rozmístění po těle pacienta a/nebo v diagnostických či terapeutických pomůckách, přičemž uvedené senzory jsou opatřeny bezdrátovými datovými rozhraními pro propojení těchto senzorů do bezdrátové datové sítě, a systém dále obsahuje vyhodnocovací jednotku, opatřenou bezdrátovým datovým rozhraním, pro sběr a následnou analýzu signálů ze všech snímačů se společnou časovou osou.

2. Systém podle nároku 1, **v y z n a ě n ý t í m**, že periferních sensorických modulů (PSM) je alespoň pět.

3. Systém podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **v y z n a ě n ý t í m**, že periferní sensorický modul (PSM) obsahuje akcelerometr, mikrokontrolér a bezdrátové datové rozhraní.

4. Systém podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **v y z n a ě n ý t í m**, že vyhodnocovací jednotka obsahuje centrální záznamovou jednotku (CZJ) pro sběr a záznam signálů obsahující bezdrátové datové rozhraní a jednotku pro zpracování a analýzu signálů.



Obr. 1

Konec dokumentu

4.2 Vývoj a testování zpětnovazebných scén

Finální verze terapeutických scén byla vytvořena na základě experimentálního vývoje a ověření využitelnosti různých typů audiovizuální zpětné vazby. V této kapitole jsou popsány různé varianty tréninkových scén využitých pro tvorbu metodiky a výsledky jejich testování.

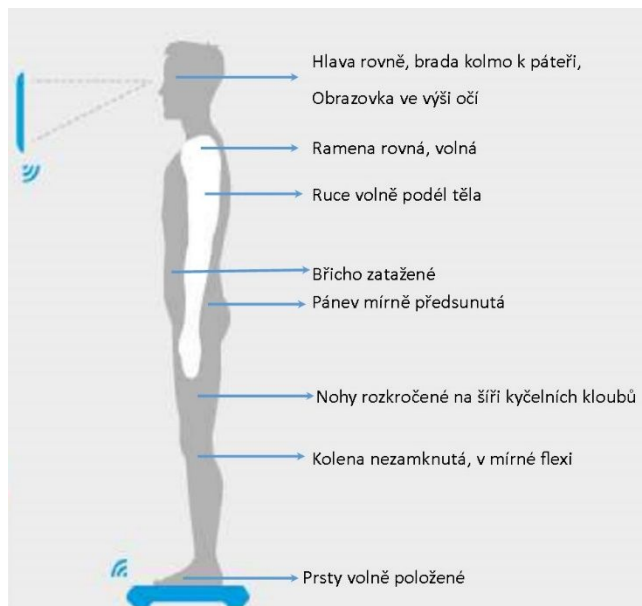
4.2.1 Experimentální protokol pro testování scén

Pro testování vyvíjeného systému jsem vytvořila obecný experimentální protokol. Kromě zajištění plynulého procesu testování a shromažďování dat protokol dále splňuje základní požadavky na bezpečné provedení studie v souladu s Helsinskou deklarací Světové lékařské asociace. Tento protokol je možné modifikovat v závislosti na charakteristikách konkrétní skupiny pacientů a s ohledem na cíl zvolené intervence.

Před začátkem používání interaktivního systému pro monitoring a terapii poruch rovnováhy s audiovizuální zpětnou vazbou je vždy zkontrolován stav využívaných prostředků včetně kontroly funkčnosti softwaru, stavu akumulátorů, funkce připojení plošiny WBB a volné kapacity paměti využitě řídicí jednotky.

Vlastní monitoring sestává z těchto částí:

- odebrání a zapsání základních anamnestických údajů (pohlaví, věk, osobní anamnéza s důrazem na neurologickou a ortopedickou problematiku) pro jednotlivé probandy pod jejich unikátním identifikátorem,
- poučení probanda o průběhu experimentu,
- poučení probanda o možných dočasných krátkodobých nežádoucích účincích (nausea, vertigo, únava, bolest svalů),
- podepsání informovaného souhlasu,
- vstupní vyšetření,
- instruktáž o správném stoji na plošině (Obr. 8),
- instruktáž k ovládání interaktivních scén,
- terapeutická intervence a monitoring probanda v průběhu stoji a terapeutických scén,
- výstupní vyšetření,
- archivace dat v anonymizované podobě na vyhrazené zálohované úložiště.



Obrázek 8 Správný stoj na plošině

Před začátkem měření je ověřeno, že proband nemá žádné z těchto kontraindikací:

- výrazná spasticita na dolních končetinách,
- závažný kognitivní deficit (neschopnost pochopit zadání, vykonávat cvičení),
- výrazná porucha stability (neschopnost stoje bez opory),
- neschopnost samostatné vertikalizace,
- těžká porucha čítí,
- těžká porucha zraku,
- závažná psychická porucha (např. těžký organický psychosyndrom),
- nespolupráce pacienta.

V rámci dílčích studií probíhá měření u všech probandů za shodných podmínek s jednotným postupem podle experimentálního protokolu. Používají se stejné technické prostředky a shodné nastavení interaktivních virtuálních scén. V průběhu experimentů jsou zaznamenány všechny potřebné údaje i případné nežádoucí účinky.

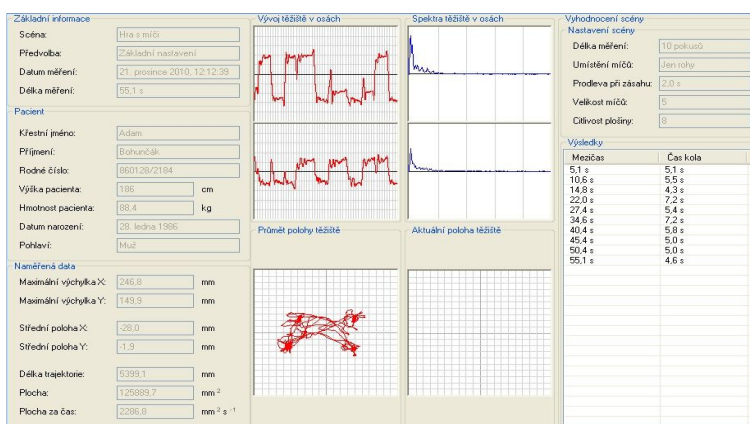
Všechna data jsou v anonymizované podobě archivována a připravena pro další analýzu, provedenou pro daný soubor dat vhodnými statistickými metodami.

4.2.2 Virtuální scény pro stereoskopickou projekci

Software s prvními tréninkovými virtuálními scénami jsme vytvořili pro účely testování audiovizuální zpětné vazby a plošiny WBB v laboratorním prostředí. Při testování jsme používali aktivní stereoskopickou projekci.

Uživatelské rozhraní a zobrazení parametrů

Uživatelské rozhraní v této verzi softwaru se třemi virtuálními scénami poskytovalo funkce zadání údajů o novém pacientovi a možnost výběru a nastavení parametrů scén. Ve výsledcích měření byly zobrazeny statokineziogramy, grafy zobrazující spektra CoP v osách a vypočítané parametry průběhu výchylek CoP (Obr. 9).



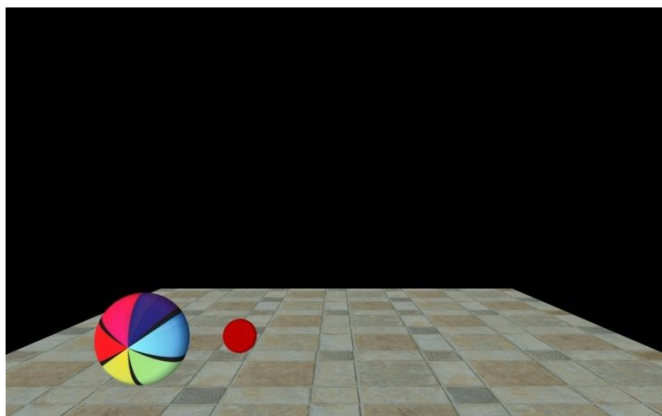
Obrázek 9 Obrazovka s výsledky měření

Závěr z testování

Na základě kvalitativního průzkumu při testování u pacientů i terapeutů jsme zjistili, že výše uvedené funkcionality jsou pro běžnou klinickou praxi příliš složité a nepřehledné. Proto jsme pro finální verzi systému pro domácí terapii zvolili přehlednější uživatelské rozhraní, kde je nastavení parametrů zvoleno až po výběru konkrétní terapeutické scény a ve výsledcích jsme se omezili na zobrazení seznamu dokončených terapeutických her, času potřebného ke splnění jednotlivých terapeutických her a statokineziogramu. Tyto parametry jsme vybrali s ohledem na jednoduchost a pochopitelnost pro terapeuty i pacienty.

Virtuální scéna Šachovnice

V první virtuální scéně Šachovnice bylo cílem pacienta změnami polohy svého těžiště měnit polohu velkého míče tak, aby se dostal na stejné pole šachovnice, na kterém byl umístěn malý červený míč (Obr. 10). Pozice míče, čas setrvání na cílovém poli šachovnice potřebný ke splnění úkolu a citlivost odezvy virtuální scény na signál z plošiny mohl terapeut předem určit s ohledem na aktuální stav pacienta a cíle terapie.



Obrázek 10 Scéna Šachovnice pro stereoskopickou projekci

Závěr z testování

Scénu jsme testovali u neurologických pacientů z Kliniky rehabilitačního lékařství VFN a 1. LF UK. Scéna byla většinou pacientů dobře snášena. Někteří pacienti udávali subjektivně nepříjemné pocity při stereoskopické projekci, obzvláště pokud měli z důvodu hemianopsie po poškození mozku problém s vnímáním stereoskopického zobrazení. Pro některé pacienty bylo obtížné pokračovat k cílovému místu, pokud byl malý míč zakryt velkým. Pacienti také opakovaně udávali připomínku, že by tuto scénu potřebovali trénovat častěji, ideálně ve svém domácím prostředí, aby mohlo dojít k většímu zlepšení. Scénu z těchto důvodů v současné době již nevyužíváme, nicméně její testování bylo prvním krokem k vývoji finální verze systému určené pro domácí terapii.

Scény pro trénink stranových výchylek

Další tréninkové scény byly vytvořeny pro trénink stranových výchylek těžiště a hodnocení odchylky subjektivní vizuální vertikály. Pacient měl za úkol vyrovnat náklon místnosti (Obr. 11) nebo tyče (Obr. 12) a zmáčknout tlačítko. Po zmáčknutí tlačítka byla zaznamenána odchylka náklonu scény od vertikály.



Obrázek 11 Scéna Místnost



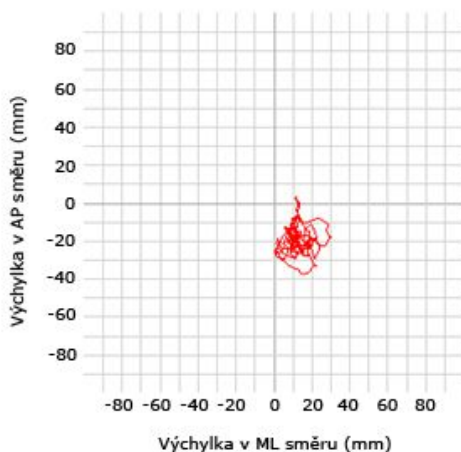
Obrázek 12 Scéna Náklon tyče

Závěr z testování

Obě scény jsme testovali u neurologických pacientů z Kliniky rehabilitačního lékařství VFN a 1. LF UK. Scény byly pacienti dobře snášeny, avšak vzhledem k absenci herních prvků nebyly dostatečně motivující pro zajištění optimální aktivační úrovně pacientů při opakovaném tréninku. Pro hodnocení subjektivní vizuální vertikály byl limitujícím faktorem fakt, že pacienti nedokázali zkoordinovat zmáčknutí tlačítka se stojem na plošině, což mohlo negativním směrem zkreslit výsledky měření. Z těchto důvodů jsme z těchto tří scén pro další vývoj vybrali pouze scénu Šachovnice.

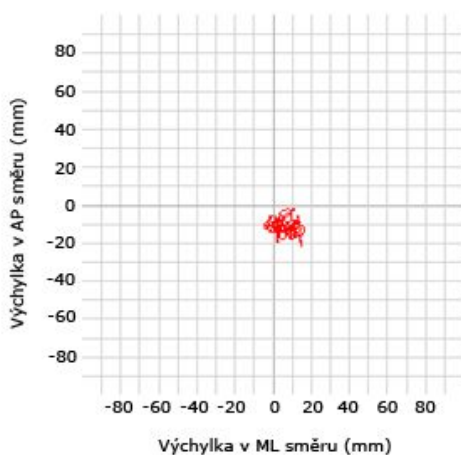
Kazuistika

Pro lepší představu o průběhu terapeutického procesu dále předkládám modelovou kazuistiku pacienta M. P. ve věku 28 let, osm let po operaci karcinomu plexus choroideus, který podstoupil čtyřměsíční terapii poruch rovnováhy. Ve statokineziogramu stoje s otevřenými očima před začátkem první terapie jsou vidět výrazné titubace (Obr. 13). Stoj byl asymetrický s větším zatížením pravé končetiny.



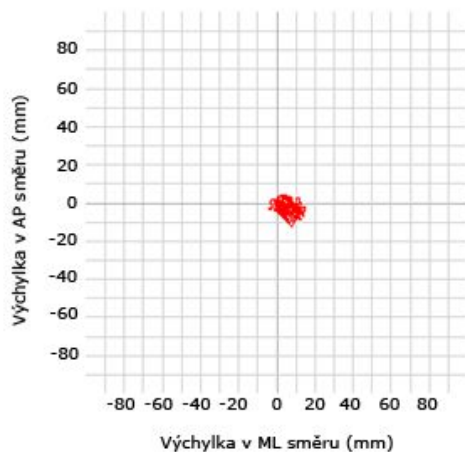
Obrázek 13 Statokineziogram stoje před 1. terapií

Po první terapii došlo ke snížení výchylek těžiště, avšak stále přetrvávala mediolaterální asymetrie s větším zatížením vpravo (Obr. 14).



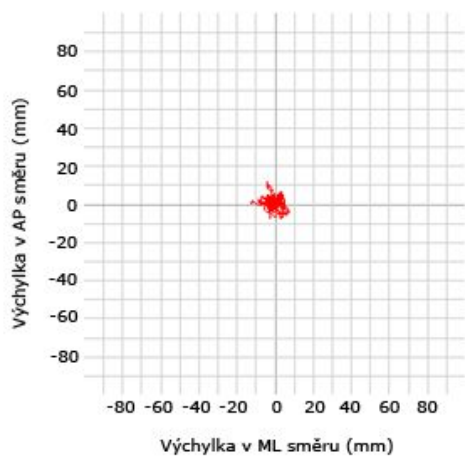
Obrázek 14 Statokineziogram stoje po 1. terapii

Před poslední terapií byly výchylky těžiště menší, než před první terapií (Obr. 15). Z toho usuzujeme, že efekt terapie nebyl pouze okamžitý, ale částečně udržitelný do další terapeutické jednotky.



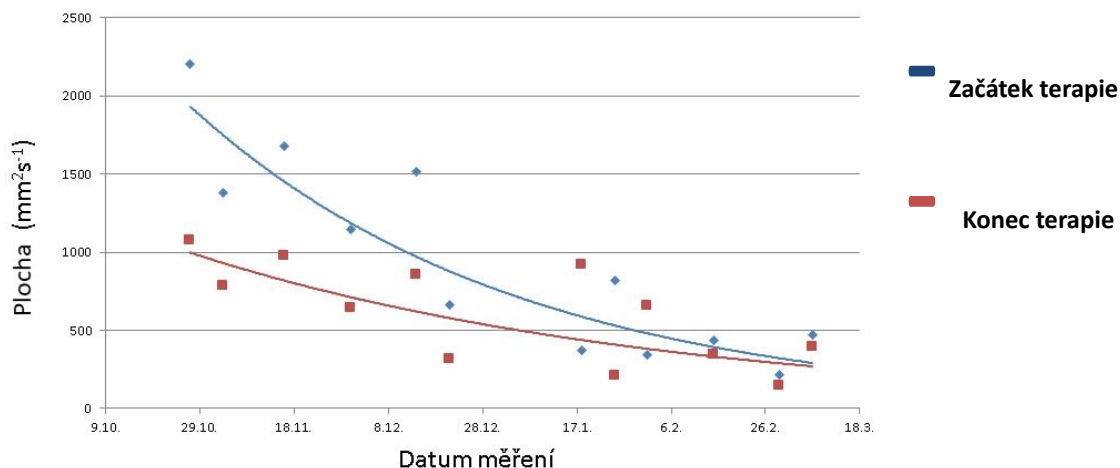
Obrázek 15 Statokineziogram stoje po poslední terapii

Na konci poslední terapie byla plocha statokineziogramu menší a mediolaterální zatížení bylo symetričtější (Obr. 16).



Obrázek 16 Statokineziogram stoje po poslední terapii

Jako hodnocený parametr jsme vybrali plochu statokineziogramu. Na obrázku č. 17 pozorujeme ve většině měření zlepšení stability po proběhlé terapii. Efekt částečně přetrvává i při měření před začátkem terapie následující. Je patrný trend zmenšení plochy statokineziogramu.



Obrázek 17 Vývoj stability stoje v průběhu série terapií

Okamžitý efekt při poslední terapii nebyl tak výrazný, jako při první terapii. Stabilita pacienta však byla již na začátku poslední terapie výrazně lepší než při prvním vstupním vyšetření. Na základě naměřených výsledků byla série terapií ukončena. Pacientovi bylo doporučeno opětovné vyšetření na tenzometrické plošině v odstupu tří měsíců a v případě zhoršení stabilometrických parametrů opětovné zahájení ambulantní terapie.

Vlastní přínos a publikační výstupy

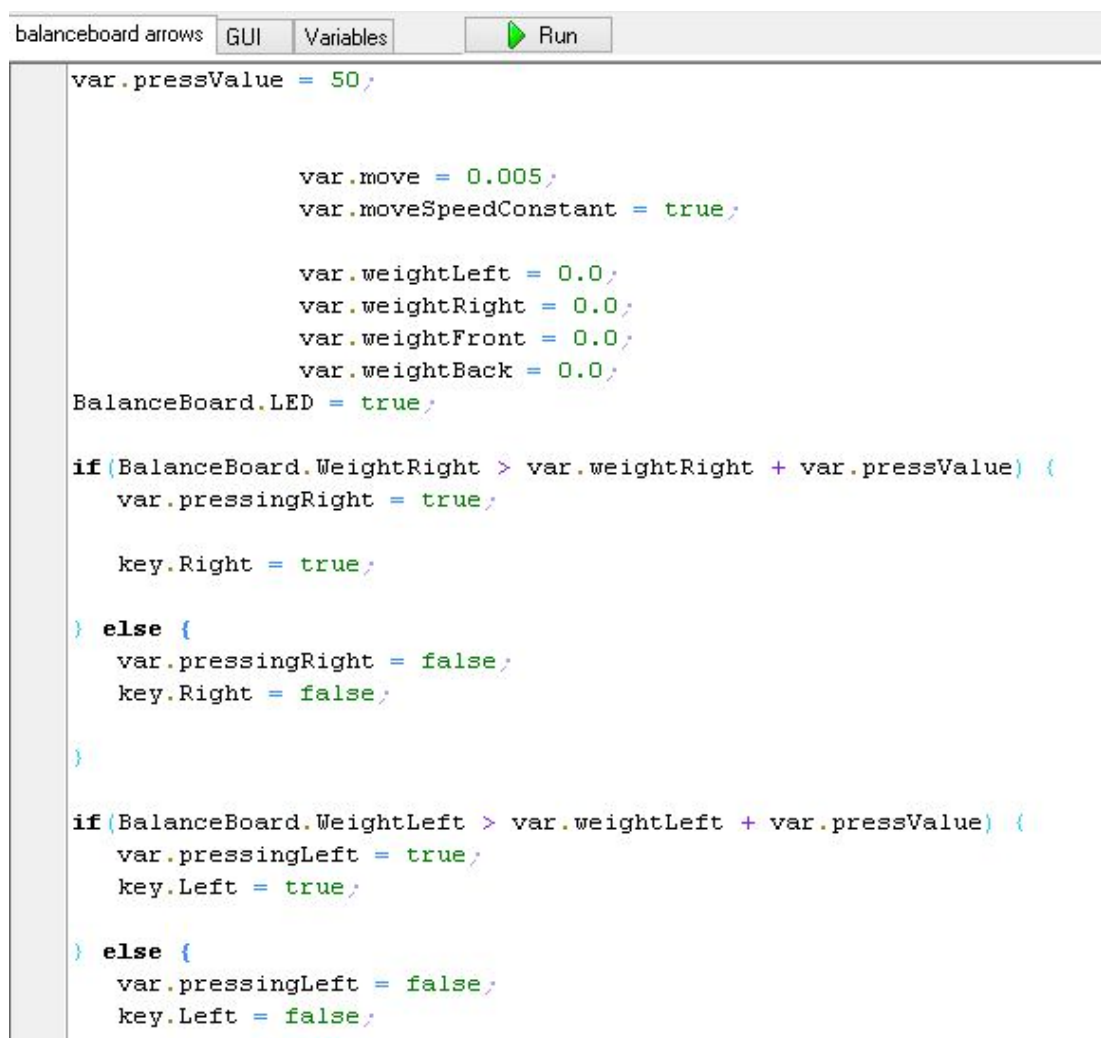
Jako členka interdisciplinárního týmu jsem se podílela na návrhu a testování scén i na práci s pacienty. Výsledky jsem prezentovala na konferenci Smart homes [40]. Poznatky z aplikace stereoskopické projekce v neurorehabilitaci jsme popsali také v kapitole Virtuální realita a vizualizace v knize Robotická rehabilitace [16].

4.2.3 Komplexní virtuální scény

Pro testování komplexní audiovizuální zpětné vazby jsme vytvořili soubor virtuálních scén s různým zaměřením úkolů a stupněm obtížnosti.

Nastavení odezvy na signál z plošiny

Pro komunikaci řídicího počítače s plošinou WBB jsme využili software GlovePIE obsluhovaný námi vytvořeným skriptem, který zajišťuje možnost ovládní setu imerzivních terapeutických scén signálem z plošiny. Pro ilustraci uvádím část skriptu s nastavením prahové citlivosti a přiřazením zatížení pravé a levé části plošiny stisku pravé, resp. levé kurzorové šipky (Obr. 18).



```
balanceboard arrows GUI Variables Run
var.pressValue = 50;

    var.move = 0.005;
    var.moveSpeedConstant = true;

    var.weightLeft = 0.0;
    var.weightRight = 0.0;
    var.weightFront = 0.0;
    var.weightBack = 0.0;
BalanceBoard.LED = true;

if(BalanceBoard.WeightRight > var.weightRight + var.pressValue) {
    var.pressingRight = true;

    key.Right = true;
} else {
    var.pressingRight = false;
    key.Right = false;
}

if(BalanceBoard.WeightLeft > var.weightLeft + var.pressValue) {
    var.pressingLeft = true;
    key.Left = true;
} else {
    var.pressingLeft = false;
    key.Left = false;
}
```

Obrázek 18 Příklad nastavení ovládní scény

Závěr z testování nastavení

Toto řešení umožňuje fyzioterapeutovi přesné nastavení citlivosti podle hmotnosti a schopností individuálního pacienta. Na základě testování jsme však zjistili, že není vhodné pro využití ve zdravotnických zařízení nebo v domácí terapii, protože je příliš složité na spuštění a nastavení. Pro nastavení ve finální verzi softwaru byly poté stanoveny pouze tři volitelné stupně odezvy plošiny na změny polohy CoP pacienta.

Komplexní scény

Pro testování jsme vytvořili soubor čtyř typů různých komplexních virtuálních prostředí pro trénink cílených opakovaných změn polohy těžiště v kombinaci s tréninkem paměti a prostorové orientace.

Aby bylo možné v krátkém časovém úseku s omezeným rozpočtem vytvořit více typů scén, bylo potřeba najít vhodný a efektivní nástroj pro jejich tvorbu. Zvolili jsme software Valve's Hammer Editor, určený pro běžně dostupné počítačové hry. Pro účely pilotního testování jsme vytvořili několik typů virtuálních prostředí a variabilní zadání s různým zaměřením a obtížností. Scény je možné ovládat plošinou WBB, klávesnicí nebo joystickem. Varianty ovládání bez plošiny jsme využívali pro zaškolení pacientů a také pro samotný trénink kognitivních funkcí.

V jednotlivých typech prostředí jsou různé tréninkové scény s volitelnou obtížností a zaměřením. Pro nejjednodušší obtížnost jsme navrhli scénu „Park“ s otevřeným prostorem, ve kterém je nutné držet se předem zadané trasy (Obr. 19).



Obrázek 19 Scéna Park

Na začátku složitější scény Lávka je úkolem zapamatovat si tvary a barvy, které je nutné znovu správně určit po přechodu přes úzký chodník nad vodou (Obr. 20). Scéna je zaměřena také na trénink paměti.



Obrázek 20 Scéna Lávka

Pro pacienty s méně závažným stupněm motorického a kognitivního deficitu jsme navrhli scénu Bludiště s různým nastavením obtížnosti procházení v uzavřeném prostoru. Tato scéna je určena také pro trénink prostorové orientace a paměti s postupně se zvyšující obtížností. Na začátku každé scény má pacient za úkol zapamatovat si symboly, osoby a předměty, které později identifikuje v průběhu a na konci scény (Obr. 21).



Obrázek 21 Scéna Bludiště

Pro trénink orientace ve venkovním prostředí jsme vytvořili scénu Město, ve které je úkolem chůze v domě a přecházení přes přechod na rušné ulici (Obr. 22).



Obrázek 22 Scéna Město

Výsledky testování

Virtuální scény jsme testovali v laboratorním prostředí v rámci kazuistik u pacientů z Kliniky rehabilitačního lékařství VFN a 1. LF UK s poruchami rovnováhy v důsledku poškození mozku.

Při testování scén jsme vzhledem k vysoké obtížnosti ovládnutí nejprve trénovali izolovaný anteroposteriorní pohyb a poté mediolaterální otáčení scény. V pozdějších fázích již dokázali pacienti ovládat scénu samostatně ve všech směrech.

Při první terapii jsme zařazovali nejjednodušší scénu Park. Výhodou pohybu v otevřeném prostoru v této scéně je menší riziko nežádoucích účinků a kinetózy oproti scénám, ve kterých je cílem průchod mezi budovami nebo uvnitř místností.

V oblasti zlepšení posturální stability jsme u pacientů pozorovali po deseti tréninkových jednotkách zlepšení ve stranové symetrii stoje, zlepšení rozsahu pohybu těžiště (limitů stability) a zlepšení schopnosti reakce na vizuální stimuly změnou polohy těžiště [41].

Pacienti se postupně naučili ovládat virtuální scény změnami polohy svého těžiště. Při prvních terapiích však potřebovali asistenci a v některých situacích jsme u nich pozorovali známky stresové reakce a riziko pádu. Při náročných situacích se objevovaly také patologické pohybové vzory, které bylo nutné slovně nebo i manuálně korigovat. Z těchto důvodů jsme se s ohledem na bezpečnost a správnost provádění motorického tréninku rozhodli, že tento typ virtuálních scén nezařadíme do finální verze systému pro domácí terapii poruch rovnováhy a jejich využití omezíme pouze na laboratorní prostředí. Díky testování různých typů virtuálních scén se nám však povedlo identifikovat možné problémy při využití audiovizuální zpětné vazby.

Vlastní přínos a publikační výstup

Jako členka interdisciplinárního týmu jsem se podílela na návrhu a testování scén i na práci s pacienty. Teoretické poznatky jsme publikovaly v recenzovaném časopisu *Listy klinické logopedie* [42]. Dílčí výsledky testování jsme publikovali v knize vydavatelství Springer s názvem *Big Data for the Greater Good* [43].

4.2.4 Vývoj terapeutických scén pro domácí terapii

Na základě testování různých typů audiovizuální zpětné vazby jsme vytvořili návrh principu dvou vybraných terapeutických herních scén, které jsou pro pacienty bezpečné a snadno pochopitelné, takže je možné je využít také v domácím prostředí.

Předzpracování dat pro zpětnou vazbu

Zpětná vazba je v tréninkových scénách zajištěna dvěma procesy. Prvním procesem je předzpracování dat z plošiny WBB. Druhý proces poté aktivuje audiovizuální zpětnou vazbu v závislosti na zvolené hře. Předzpracování dat náš software provádí nízkopropustným FIR filtrem, implementovaným klouzavým průměrem s pohyblivým oknem s 20 vzorky:

$$MA_n = \frac{A_n + A_{n+1} + \dots + A_{n+19}}{20}$$

Tím je zajištěn plynulejší pohyb herních prvků díky částečné eliminaci různých nežádoucích artefaktů ve vysokofrekvenčních oblastech. Díky zvolené metodě je audiovizuální zpětná vazba stále dostatečně rychlá pro poskytnutí okamžité odezvy, ale v herních scénách se nevyskytují rušivé výchyly ovládaných objektů, které by pacientům znesnadňovaly splnění terapeutického cíle.

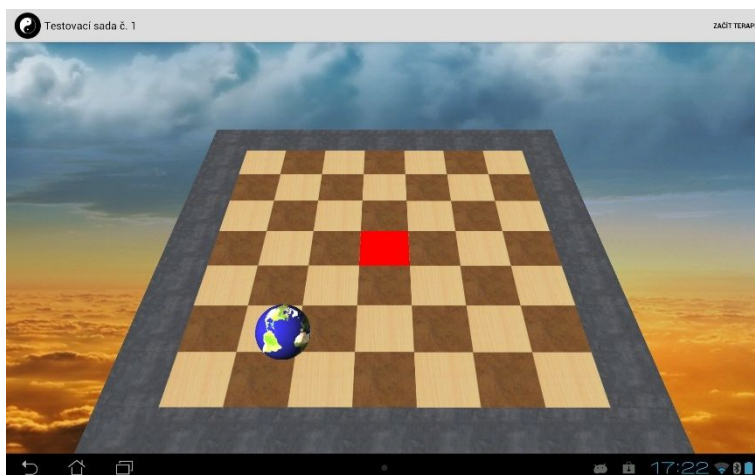
Předzpracovaná data slouží k řízení druhého procesu, který aktivuje audiovizuální zpětnou vazbu a je realizován např. změnou barvy herního prvku nebo zvukovým signálem. Aktivace zpětnovazebných signálů závisí na podmínkách hry, například na stanoveném času stráveném na herním prvku.

Scéna Šachovnice

První z terapeutických her vychází z principu scény Šachovnice, kterou jsme úspěšně testovali na počátku vývoje systému. Ve scéně Šachovnice tedy pacient pohybuje změnami polohy svého těžiště koulí směrem k poli vyznačenému červenou barvou tak blízko, až se barva pole změní na zelenou. V této pozici je úkolem pacienta setrvat předem stanovenou dobu. Poté se objeví červené pole na dalším předvoleném místě. Pokud je koule ve správné pozici na vybraném poli, toto pole svítí zeleně. Scéna končí po odčítání definovaného počtu polí v nastavení scény nebo po uplynutí uživatelem nastavené doby cvičení.

Rozdíl oproti původní variantě scény Šachovnice byl zejména v prezentaci pole, na které má pacient přemístit ovládaný objekt. Předchozí varianta kuličky, která mohla

být zastíněna pohybujícím se objektem, byla nahrazena barevným zvýrazněním požadované pozice, což je dostatečně pochopitelné i pro pacienty s kognitivním deficitem (Obr. 23).



Obrázek 23 Testovaná scéna Šachovnice

Pro scénu Šachovnice jsem vytvořila na základě konzultací s fyzioterapeuty základní set tréninkových schémat (Tab. 5). Před začátkem terapie mohl fyzioterapeut vytvořit také své vlastní specifické zadání požadovaných pozic na Šachovnici, aby byly zohledněny schopnosti a potřeby každého individuálního pacienta.

Tabulka 5 Set tréninkových schémat Šachovnice

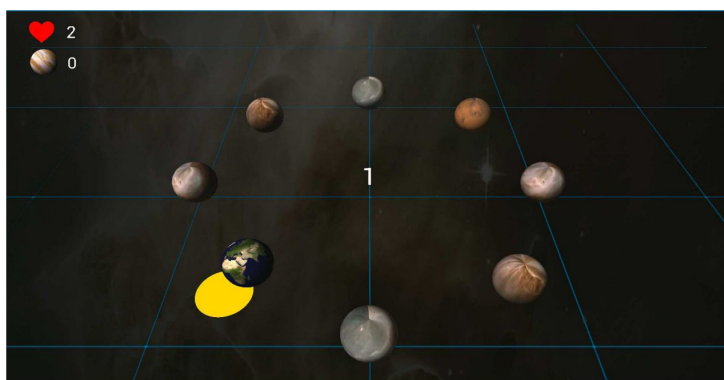
Terapeutická scéna	Počet pozic	Popis scény
Krátká ukázka	6	Krátká ukázka je využívána u pacientů s výraznou poruchou rovnováhy.
Dlouhá ukázka	113	Dlouhá ukázka využívá celou plochu šachovnice a vyváženě kombinuje malé i velké změny těžiště kolem rovnovážné polohy i před hranicemi stability.
Rovnoměrné rozmístění	25	Rovnoměrné rozmístění pacienta symetricky a se středně velkou výchylkou naviguje všemi směry.
Rovnoměrné rozmístění 2	49	Delší variace na terapeutickou scénu Rovnoměrné rozmístění.
Předozadní pohyb	19	Předozadní pohyb pacienta naviguje pouze v předozadní ose bez jakékoli výchylky do strany.
Předozadní pohyb 2	44	Delší variace na terapeutickou scénu Předozadní pohyb. Liší se vzorcem předozadní navigace a čtyřmi poli vychýlenými v levoprávé ose.
Stranový pohyb	33	Stranový pohyb pacienta naviguje pouze v levoprávé ose bez jakékoli výchylky dopředu či dozadu.
Stranový pohyb 2	29	Variace na terapeutickou scénu Stranový pohyb využívající odlišný pohybový vzorec založený na větších výchylkách.
Malé výchylky	33	U scény Malé výchylky je pacient navigován všemi směry, ale pouze do vzdálenosti 1 pole od rovnovážné polohy. Vhodné pro cvičení ve stoji na jedné noze.
Malé výchylky 2	25	Variace na terapeutickou scénu Malé výchylky, ve které je pacient opakovaně navigován zpět na již dosažené pole.
Levá strana	29	Terapeutické scény Levá strana a Pravá strana jsou pouze stranově zaměřeny, pacient není navigován na opačnou polovinu šachovnice.
Pravá strana	29	Terapeutické scény Levá strana a Pravá strana jsou pouze stranově zaměřeny, pacient není navigován na opačnou polovinu šachovnice.
Spirála levá	19	Terapeutické scény Spirála levá a Spirála pravá pacienta navigují do postupně se rozšiřujícího vzorce spirály. Levá a pravá vyjadřují směr točivosti spirály.
Spirála pravá	19	Terapeutické scény Spirála levá a Spirála pravá pacienta navigují do postupně se rozšiřujícího vzorce spirály. Levá a pravá vyjadřují směr točivosti spirály.
Kříž	49	Terapeutická scéna Kříž pacienta naviguje s výchylkou velikosti 1 pole pouze v osách. Pacient není navigován šikmo.
Kříž 2	42	Variace na terapeutickou scénu Kříž, ve které je pacient částečně navigován s velkými výchylkami.
Diagonály	29	Terapeutická scéna Diagonály pacienta naviguje pouze šikmo. Na rozdíl od Kříže je změna těžiště v šikmém směru obtížnější než změna pouze v ose. Pole v rozích jsou navíc vzdálenější od rovnovážné polohy.
Diagonály 2	33	Variace na terapeutickou scénu Diagonály.

Výsledky testování

Hra Šachovnice byla při testování pacienty dobře snášena, zaznamenali jsme však nedostatky v grafickém zpracování. Do finální verze byl poté na základě testování upraven design pozadí scény, aby bylo méně rušivé a pacient se více soustředil na vykonávání úkolu a změněna barva označení úspěšně dosaženého pole, aby byl barevný kontrast viditelný i pro barvoslepé pacienty, kteří v původní testované variantě nedokázali rozeznat označení pole. Ve finální verzi je místo červené barvy použita modrá a místo zelené žlutá.

Scéna Vesmír

U pacientů, kteří již zvládají scénu Šachovnice bez problémů, je indikována složitější scéna Vesmír, ve které je kombinován trénink rovnováhy s nutností zapamatovat si označených zobrazených pozic. Obsahuje tedy navíc tzv. dual-task úkol, ve kterém pacient trénuje kromě rovnováhy také paměť (Obr. 24).



Obrázek 24 První verze scény Vesmír

Nejdříve se zobrazí zadání pozic planet, které si pacient musí zapamatovat a následně ve správném pořadí odcvičit. Na každé z pozic je potřeba předem stanovenou dobu vytrvat. Po tuto dobu je pozice označena žlutě. Na konci požadované doby se ozve zvukový signál. Poté je potřeba navrátit se s koulí doprostřed terapeutické scény na místo vyznačené žlutě. Následně se pokračuje na další pozici. Úkolem je přemístit ovládanou kouli na požadované pozice ve stejném, správném pořadí (dle číselných instrukcí zobrazených při ukázce). Sekvence pozic se po správných odpovědích při další ukázce prodlouží vždy o jednu. Terapeutická scéna končí v případě tří chybných odpovědí (se setrváním po předem stanovenou dobu) nebo po dosažení zvoleného časového limitu. V horní části obrazovky se průběžně ukazují texty nápovědy.

Každá planeta má přiřazenu individuální výšku tónu, podle které se může pacient orientovat při určování správných pozic. Již odcvičené pozice se mohou opakovat nebo generovat ve zcela novém pořadí, čímž dojde ke zvýšení obtížnosti zapamatování si postupu.

Výsledky testování

Při testování terapeutické scény Vesmír u pacientů jsme zjistili nedostatek v oblasti viditelnosti herních prvků, které byly málo kontrastní oproti pozadí scény a nedostatek v grafické prezentaci zadání cvičení, která nebyla pro pacienty dostatečně dobře pochopitelná. Z toho důvodu musela být scéna do finální verze softwaru později modifikována.

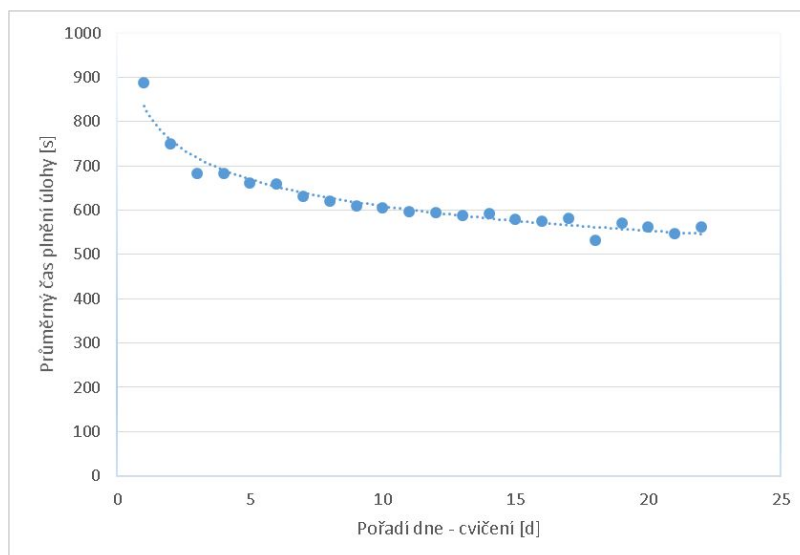
Pilotní studie využití systému v domácím tréninku rovnováhy u seniorů

Systém pro domácí trénink rovnováhy jsme poprvé použili v domácím prostředí u zdravých seniorů bez subjektivní poruchy rovnováhy (13 žen, 1 muž) ve věku 67 let (SD = 7). Žádnému z těchto probandů ve standardizovaných testech Tinetti Mobility Test a TUG ani při vyšetření přístrojem SPS nebylo diagnostikováno zvýšené riziko pádů.

V průběhu každodenního domácího tréninku rovnováhy po dobu čtyř týdnů s využitím vyvíjeného systému nebyly zaznamenány žádné nežádoucí účinky. Maximální počet dní s vynecháním cvičení byl 4.

Provedli jsme statistickou analýzu dat zaměřenou na detekci zlepšení v testu TUG a ve zkrácení času potřebného ke splnění terapeutického setu herních scén. Podle výsledků Shapiro-Wilk testu měly naměřené hodnoty normální rozdělení. Pro statistickou analýzu dat byl využit párový t-test.

U souboru probandů došlo po domácím tréninku rovnováhy ke statisticky významnému zlepšení výkonu v terapeutickém setu herních scén o 5 minut a 41 vteřin, což představuje 38 %. Z párového t-testu vyplynulo, že se čas potřebný k vykonání vždy stejného referenčního zadání v průběhu opakovaného tréninku rovnováhy statisticky významně snížil ($p = 0,009$). Průměrný čas potřebný ke splnění vždy stejného terapeutického setu herních scén se postupně snižoval (Obr. 25).



Obrázek 25 Průměrná délka plnění referenční scény

Z testování vyplynulo, že je systém využitelný v domácím prostředí probandů seniorského věku. Audiovizuální zpětná vazba poskytovala dostatečnou motivaci k pravidelnému cvičení. I u probandů bez poruchy rovnováhy došlo ke zlepšení v oblasti posturální reakce na audiovizuální podněty.

Vlastní přínos a publikační výstupy

Při testování u seniorů jsem se aktivně podílela při tvorbě metodiky, práci s probandy, analýze dat a následně jsem na základě výsledků napsala článek s názvem „Pilotní studie využití tenzometrické plošiny v domácí terapii poruch rovnováhy“, který jsme publikovali v impaktovaném časopisu Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie [17].

Pilotní studie využití tenzometrické plošiny v domácí terapii poruch rovnováhy

The Pilot Study of the Use of Force Platform in Home-based Therapy of Balance Disorders

Souhrn

Cíl: Cílem pilotní studie bylo ověřit využitelnost nově vyvíjeného systému na principu využití tenzometrické plošiny a vizuální zpětné vazby k samostatnému domácím tréninku rovnováhy. **Soubor a metodika:** Pilotní studie se zúčastnilo 14 probandů (13 žen a jeden muž) ve věku 67 ± 7 let. Trénink rovnováhy probíhal v domácím prostředí po dobu 26 dní s využitím interaktivního systému na principu vizuální zpětné vazby. Všichni probandi uvedli subjektivní pocit poruchy rovnováhy, ale nebylo u nich diagnostikováno riziko pádu. K testování byl použit neparametrický Friedmanův test pro závislé výběry. **Výsledky:** Z Friedmanova testu vyplynulo, že se čas potřebný k vykonání vždy stejného referenčního zadání v průběhu opakovaného tréninku rovnováhy statisticky významně snížil, a to na hladině významnosti 0,001 (chi-kvadrát = 113,56, s.v. = 21, n = 14; p = 0,001). U všech probandů došlo ke zlepšení schopnosti reagovat změnami polohy těžiště na zadání ve virtuálním prostředí. **Závěr:** Byla ověřena využitelnost vyvíjeného systému pro samostatný trénink rovnováhy v domácím prostředí. Pro prokázání efektu tréninku na snížení rizika pádů a zlepšení schopnosti pacientů vykonávat aktivity běžného denního života je nutné zpracovat randomizovanou kontrolovanou studii na větším počtu probandů s objektivní poruchou rovnováhy.

Abstract

Aim: The aim of the pilot study was to verify usability of a newly developed system that utilizes a force platform and visual feedback for home-based balance training. **Material and methods:** The pilot study was performed in 14 respondents (13 women and one man) with the mean age of 67 ± 7 years. The balance training took place in domestic environment for a period of 26 days with the use of interactive system employing the principle of visual feedback. All volunteers reported subjective perception of balance issues but no significant objective risk of fall was diagnosed. Non-parametric Friedman's test was used to evaluate the effect of the therapy. **Results:** The results showed that the time required to finish the same reference training scene significantly decreased at the level of significance of 0.001 (chi-square = 113.56, s.v. = 21, n = 14; p = 0.001). All subjects improved their ability to react to scene changes in virtual environment by shifting their centre of gravity. **Conclusion:** We verified usability of this custom-developed system for home-based balance training. Further randomized study incorporating larger data set is needed to validate the effect of the therapy.

Autoři deklarují, že v souvislosti s předmětem studie nemají žádné komerční zájmy.

The authors declare they have no potential conflicts of interest concerning drugs, products, or services used in the study.

Redakční rada potvrzuje, že rukopis práce splnil ICMJE kritéria pro publikace zasílané do biomedicínských časopisů.

The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE "uniform requirements" for biomedical papers.

**M. Janatová^{1,2}, M. Tichá^{1,2},
R. Melecký¹, K. Hána¹,
O. Švestková^{1,2}, J. Jeřábek^{1,3}**

¹ Společné pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI ČVUT a 1. LF UK, Praha

² Klinika rehabilitačního lékařství
1. LF UK a VFN v Praze

³ Neurologická klinika
2. LF UK a FN v Motole, Praha



MUDr. Markéta Janatová
Společné pracoviště
biomedicínského inženýrství
FBMI ČVUT a 1. LF UK
Studničkova 7
128 00 Praha
e-mail:
marketa.janatova@fbmi.cvut.cz

Přijato k recenzi: 30. 3. 2016

Přijato do tisku: 6. 6. 2016

Klíčová slova

vizuální zpětná vazba – tenzometrická plošina – rehabilitace – porucha rovnováhy – domácí terapie

Key words

visual feedback – force platform – rehabilitation – balance disorders – home-based therapy

Úvod

Poruchy rovnováhy centrálního i periferního původu jsou závažný symptom, v jehož důsledku dochází k funkčnímu deficitu v aktivitách běžného denního života a ke zvýšení rizika pádů, které mohou zapříčinit další komplikace.

Pro kompenzaci poruch rovnováhy je klíčová dlouhodobá komplexní rehabilitace. Zatímco vestibulookulární reflex a porucha vnímání subjektivní vizuální vertikály se u pacientů s akutním periferním vestibulárním syndromem kompenzuje v průběhu dní, pro včasnou obnovu vestibulospinálního reflexu je nezbytná cílená rehabilitační intervence [1]. V klinických studiích bylo prokázáno, že také u pacientů v chronickém stadiu degenerativních onemocnění centrálního nervového systému lze rehabilitaci s využitím biologické zpětné vazby docílit signifikantního zlepšení stability. U pacientů s mozečkovou ataxií bylo prokázáno zlepšení stability stoje po intenzivní terapii s elektrotaktilní biologickou zpětnou vazbou, vč. průkazu udržitelnosti efektu této terapie [2].

U pacientů s poruchami rovnováhy je nedílnou součástí léčby rehabilitace zaměřená na kompenzaci funkčního deficitu, zlepšení kvality života a snížení rizika pádů. Kromě konvenčních přístupů a pomůcek jsou zařazovány také technické systémy na principu využití vizuální zpětné vazby a tenzometrické plošiny s tlakovými senzory, které umožňují detekci změn polohy průmětu těžiště v čase. Systémy jsou vhodné pro využití v terapii a diagnostice poruch rovnováhy různé etiologie, např. u pacientů s vestibulárním schwannomem [3].

Při terapii pacient změnami polohy svého těžiště ovládá terapeutickou scénu s individualizovaným nastavením. Dostává tak zpětnou vazbu o velikostech a směru výchylek průmětu těžiště. V rámci diagnostiky je používána analýza časová i frekvenční, která umožňuje např. kvantifikaci posturálního třesu při atrofii mozečku a diferenciální diagnostiku primárního ortostatického tremoru.

Při terapii poruch rovnováhy je biologická zpětná vazba zajištěna prostřednictvím vizualizace průmětu polohy těžiště, akustických signálů, nebo elektrotaktilní stimulace jazyka [2–4]. Jako alternativa k medicínským přístrojům jsou v terapii používány cenově dostupné herní ovladače, snímající pohyb uživatele nebo průmět polohy těžiště [5,6]. Tyto systémy jsou jednoduché a přenosné. Lze je využít v ambulantní terapii, u lůžka pacienta v akutním pooperačním období i v rámci telerehabilitace v domácím prostředí.

Komerční hry určené pro zdravou populaci mají řadu limitujících faktorů. Úlohy nejsou zaměřeny na specifický problém, vizuální prezentace nereflexuje dostatečně přesně pacientův pohyb a pacient může být demotivován příliš vysokou obtížností úkolů. Proto je pro zajištění optimální efektivity terapie s využitím těchto herních systémů nezbytná supervize, instruktáž a cílené vedení terapeutem.

V pilotních studiích efektu tréninku rovnováhy u osob starších než 60 let byl prokázán pozitivní vliv hraní videoher na snížení deprese a úzkosti, zlepšení rovnováhy, hybnosti

horní končetiny, kognitivních funkcí a kvality života [5]. Při použití komerčních herních konzolí se scénami určenými pro zdravou populaci však byl zaznamenán výskyt úrazů a zdravotních komplikací [7].

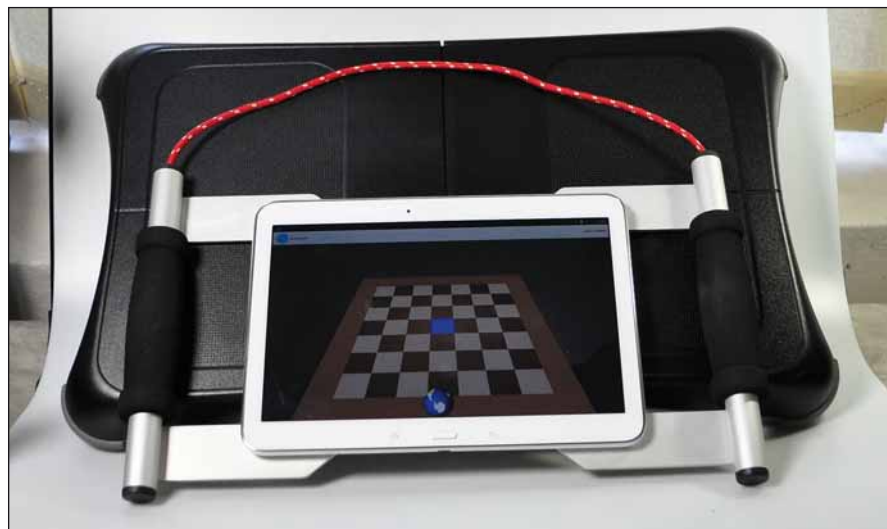
V Centru podpory aplikačních výstupů a spin-off firem na 1. LF UK v Kladně byl vyvinut interaktivní systém pro trénink rovnováhy s využitím tenzometrické plošiny a vizuální zpětné vazby (obr. 1). Systém je určen pro terapii pacientů s poruchami senzoric-kých systémů, řídicích center a reflexů, které se podílejí na udržování rovnováhy. Je využíván také např. v rehabilitaci po ortopedických operacích a u pacientů s funkčními poruchami a strukturálními změnami pohybového aparátu nebo v prevenci pádů u seniorů.

Aktuální poloha průmětu těžiště těla pacienta je snímána plošinou Wii Balance Board. Jedná se o pohybový ovladač pro hru Wii fit určenou pro volnočasové cvičení s důrazem na redukci hmotnosti u zdravé populace. Plošina obsahuje v rozích senzory tlaku, je přenosná a má nosnost 150 kg. Přesnost měření plošinou je i po víceletém intenzivním používání dostatečná pro využití v terapii i v klinickém hodnocení poruch rovnováhy [8].

Interaktivní systém je použitelný ve zdravotnických zařízeních i v domácím prostředí pacientů. Vizuální zpětná vazba je zprostředkována tabletem s velmi jednoduchým uživatelským rozhraním, aby mohl systém pacient ovládat samostatně. Výhodou nácviku přenášení váhy s vizuální zpětnou vazbou v domácím prostředí pacienta je zejména aktivace limbického systému a zvýšení motivace k pravidelnému cvičení, okamžitá zpětná vazba pomáhající vykonávat zadané cvičení správně a možnost kontroly compliance pacienta. Při plnění zadání zapojuje pacient kyčelní i hlezenní mechanismus pro zajištění posturální stability a dostává okamžitou zpětnou vazbu o správnosti pohybových strategií. Při malém rozsahu pohybu v centrálních pozicích je posilován hluboký stabilizační systém, při umístění zadaných pozic v krajních polohách dochází k postupnému zvýšení a laterolaterální symetrizaci rozsahu limitů stability. Systém byl pilotně testován u zdravé populace bez rizika pádů. Aktuálně jsou zpracovávány randomizované klinické studie efektu terapie u pacientů s poruchami rovnováhy různé etiologie [9].

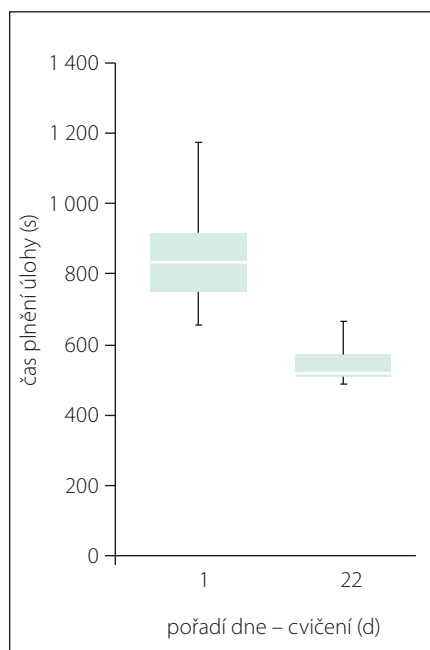
Soubor a metodika

Ze skupiny osob zařazených do studie byl vybrán soubor zdravých probandů ve věku



Obr. 1. Interaktivní systém pro terapii poruch rovnováhy.

Fig. 1. Interactive system for therapy of balance disorders.

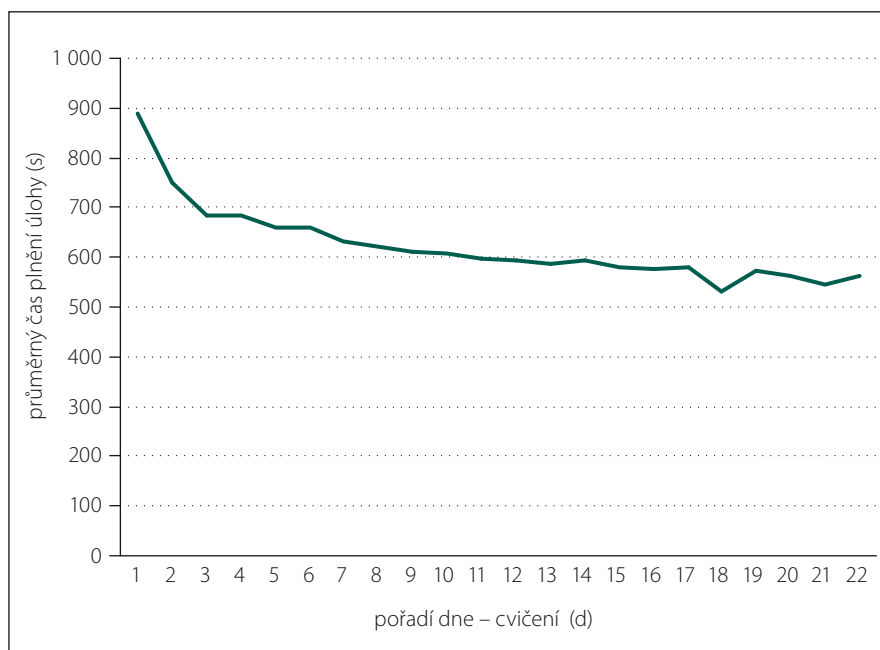


Graf 1. Čas potřebný ke splnění terapeutické scény.

od 60 let výše. V této věkové kategorii lze předpokládat fyziologické změny rovnováhy asociované k věku v důsledku degenerativních změn. Soubor probandů byl složen ze 13 žen a jednoho muže ve věku 67 ± 7 let.

Při neurologickém vyšetření u žádného z probandů nebyla zjištěna polyneuropatie ani žádné další neurologické onemocnění. V testu Timed, Up and Go Test bylo dosaženo výsledků 8 ± 2 s, v Tinetti Mobility Test bylo dosaženo u všech probandů plného počtu 28 bodů. Probandi byli vyšetřeni také dynamickou plantografií, kde nebyly zjištěny žádné signifikantní odchylky od normy.

Úkolem probandů bylo cvičit denně vždy ve stejnou denní dobu celkem 26 dní referenční úlohu se vždy stejným zadáním sekvence pozic. Každé cvičení probíhalo s obrazovkou tabletu ve výši očí, rukama volně podél těla, mírně předsunutou pánví, nohama rozkročenými na šíři kyčelních kloubů, kolena nezamknutými a prsty volně položenými symetricky na plošině. Průmět polohy těžiště při stoji na plošině se probandům zobrazoval jako objekt, jehož pozici na obrazovce přemísťovali přenášením váhy na postupně zobrazované pozice. Na každé pozici bylo nutné setrvat po dobu jedné vteřiny, dokud označení nezmizí. Pro optimální motivaci a jednoduchou orientaci byla zvolena scéna šachovnice s objektem ve tvaru koule. V průběhu plnění scény byla probandům poskytnuta vizuální a auditivní zpětná



Graf 2. Čas potřebný ke splnění terapeutické scény.

vazba, která umožnila lépe pochopit jednotlivé fáze plnění zadání. Přednastavené pozice byly rozmístěny rovnoměrně ve všech čtyřech kvadrantech tak, aby byla zachována symetrie. Míra odezvy referenční scény na zatížení tenzometrů plošiny byla volena s ohledem na váhu jednotlivých probandů tak, aby výsledná citlivost byla pro všechny probandy stejná. Kritériem úspěšnosti byl čas, za který byl proband schopen dokončit tuto vždy shodnou referenční úlohu. Každý pacient dostal manuál a protokol, do kterého zapisoval délku cvičení, případně nežádoucí účinky a veškeré informace, které by mohly ovlivnit úspěšnost plnění referenční scény.

Každý proband podepsal informovaný souhlas a byl instruován o správném použití přístroje, aby nedošlo k nežádoucím událostem. Studie byla provedena v souladu s etickými standardy etické komise 1. LF UK, odpovědné za provádění klinických studií, a Helsinskou deklarací z roku 1975, revidovanou v roce 2000.

Výsledky

Průměrná compliance byla 91,2 %. Maximální počet dní, které byly vynechány, byl čtyři. Všichni probandi tedy cvičili alespoň 22 dní. U souboru probandů došlo ke statisticky významnému zlepšení při vykonávání zadané dynamické úlohy (graf 1).

K testování byl použit neparametrický Friedmanův test pro závislé výběry. Z Fried-

manova testu vyplynulo, že se časy cvičení statisticky významně snížily, a to na hladině významnosti 0,001 (chí-kvadrát = 113,56, s.v. = 21, n = 14; p = 0,001).

U žádného z probandů nebyly zaznamenány žádné úrazy, komplikace ani nežádoucí účinky.

Diskuze

U všech probandů došlo k postupnému zkrácení času potřebného k vykonání vždy stejné úlohy, zaměřené na opakované řízení změny polohy těžiště (graf 2). Z naměřených výsledků nelze stanovit, zda se nácvik rovnováhy projevil pozitivně i v aktivitách běžného života probandů. Přenos nabitých dovedností můžeme pouze předpokládat na základě subjektivního hodnocení probandy a na základě výsledků pilotních studií zaměřených na téma využití plošiny Wii Balance Board u pacientů v obdobné věkové kategorii. Chao et al na základě rozboru 22 validních klinických studií uvádí zlepšení motorických a kognitivních funkcí, zvýšení kvality života, zlepšení rovnováhy a snížení rizika pádů u osob vyššího věku po intervenci s využitím vizuální zpětné vazby a plošiny Wii Balance Board [5]. Závěry z review vybraných 24 vědeckých studií zaměřených na využití virtuální reality v rehabilitaci poukazují na zlepšení rovnováhy a chůze u pacientů po cévní mozkové příhodě [4]. Shodné předběžné výsledky u pacientů s touto diagnózou byly zjištěny také v rámci aktuálně probíhající pi-

lotní studie efektu terapie s využitím námi vyvíjeného systému, kde došlo ke zlepšení ve standardizovaných testech Berg Balance Scale a Timed, Up and Go Test [9].

Maximální počet vynechaných cvičení byl čtyři z 26. Motivačním faktorem byla vizuální zpětná vazba, prezentace zlepšení při pravidelném tréninku a vědomí, že počet cvičení je zaznamenáván pro zpětné vyhodnocení terapeutem. Skupina probandů byla vybrána z řad dobrovolníků se zájmem o vyzkoušení této metody. U náhodného výběru probandů by byla compliance pravděpodobně nižší.

Při využívání Wii Balance Board v kombinaci s komerční herní konzolí jsou evidovány pády a úrazy u zdravé populace [7]. U skupiny probandů, kteří při testování využili interaktivní systém vytvořený cíleně pro trénink rovnováhy, nebyly zaznamenány žádné komplikace.

Závěr

Interaktivní systém pro terapii poruch rovnováhy byl vyvinut pro využití ve zdravot-

nických zařízeních a domácím prostředí pacientů. Průmět polohy těžiště je zobrazen za účelem zvýšení motivace a zpětné vazby o správnosti vykonávaného cvičení.

Po 26 dnech domácího tréninku rovnováhy došlo u skupiny probandů ve věku od 60 let ke zlepšení při vykonávání úlohy zaměřené na přenášení těžiště na předem zadané pozice.

Byla ověřena využitelnost interaktivního systému pro nácvik cílených změn polohy těžiště prováděný samostatně v domácím prostředí. Pro prokázání efektu tréninku na snížení rizika pádů a zlepšení schopnosti pacientů vykonávat aktivity běžného denního života je nutné zpracovat randomizovanou kontrolovanou studii na větším počtu probandů s objektivně zjištěnou poruchou rovnováhy.

Literatura

1. Strupp M, Arbusow V, Maag KP, et al. Vestibular exercises improve central vestibulospinal compensation after vestibular neuritis. *Neurology* 1998;51(3):838–44.
2. Čakrt O, Vyhňálek M, Slabý K, et al. Balance rehabilitation therapy by tongue electro tactile biofeedback in

patients with degenerative cerebellar disease. *Neuro-Rehabilitation* 2012;31(4):429–34. doi: 10.3233/NRE-2012-00813.

3. Kalitová P, Čakrt O, Čada Z, et al. Význam vestibulárního a posturografického vyšetření u pacientů s vestibulárním schwannomem. *Cesk Slov Neurol N* 2013;76/109(4):469–74.

4. Darekar A, McFadyen B, Lamontagne A, et al. Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review. *J Neuroeng Rehabil* 2015;12(1):46. doi: 10.1186/s12984-015-0035-3.

5. Chao Y, Scherer Y, Montgomery C. Effects of using Nintendo Wii exergames in older adults: a review of the literature. *J Aging Health* 2014;27(3):379–402. doi: 10.1177/0898264314551171.

6. Gil-Gomez J, Lloréns R, Alcaniz M, et al. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *J Neuroeng Rehabil* 2011;8(1):30. doi: 10.1186/1743-0003-8-30.

7. Jalink M, Heineman E, Pierie J, et al. Nintendo related injuries and other problems: review. *BMJ* 2014;349:7267. doi: 10.1136/bmj.g7267.

8. Bartlett H, Ting L, Bingham J. Accuracy of force and center of pressure measures of the Wii Balance Board. *Gait Posture* 2014;39(1):224–8. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.07.010.

9. Janatová M, Tichá M, Gerlichová M, et al. Terapie poruch rovnováhy u pacientky po cévní mozkové příhodě s využitím vizuální zpětné vazby a stabilometrické plošiny v domácím prostředí. *Rehabilitácia* 2015;52(3):140–6.

Pilotní studie využití systému v domácí terapii neurologických pacientů

Vzhledem k tomu, že při testování u zdravých seniorů jsme nezaznamenali žádné komplikace ani nežádoucí účinky, jsme vyhodnotili systém jako vhodný pro využití při testování v domácím prostředí u pacientů po poškození mozku. Testování se zúčastnilo celkem 32 pacientů s poruchou rovnováhy z Kliniky rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN. U všech pacientů byla při posturografickém vyšetření na přístroji SPS diagnostikována porucha rovnováhy. Do studie bylo zařazeno 16 pacientů, u kterých byl proveden před začátkem a po konci domácí terapie také standardizovaný test BBS a proběhl záznam času potřebného ke splnění referenční terapeutické herní scény Šachovnice. Složení skupiny bylo 8 mužů a 8 žen (Tab. 6). Průměrný věk pacientů byl 57,4 let (SD = 15,7).

Tabulka 6 Seznam pacientů zařazených do studie

ID	věk	pohlaví	délka onemocnění	příčina	BBS
1	66	Muž	2 roky	iktus	55
2	72	Žena	3 roky	iktus	28
3	26	Žena	2 roky	trauma	32
4	35	Muž	2 roky	iktus	53
5	69	žena	4 roky	iktus	25
6	72	muž	5 let	iktus	32
7	76	muž	1 rok	iktus	48
8	61	žena	7 let	iktus	51
9	38	žena	2 roky	iktus	30
10	73	žena	12 let	iktus	36
11	62	žena	6 let	iktus	54
12	67	muž	15 let	iktus	32
13	55	muž	2 roky	iktus	33
14	52	žena	6 let	iktus	54
15	63	muž	2 roky	iktus	42
16	32	muž	2 roky	trauma	48

U pacientů proběhlo na začátku a na konci čtyřtýdenní domácí terapie vstupní vyšetření s využitím standardizovaného testu BBS. Po vstupním vyšetření jsme provedli instruktáž postupu při cvičení a správného stoje na plošině.

Při vstupním lékařském a fyzioterapeutickém vyšetření nebyly zjištěny žádné z kontraindikací definovaných v experimentálním protokolu.

Všichni pacienti splňovali kritéria zařazení do studie:

- porucha rovnováhy v důsledku získaného poškození mozku (minimálně 6 měsíců, maximálně 15 let od vzniku onemocnění, úrazu),
- porucha stability diagnostikovaná při posturografickém vyšetření na SPS,
- věk minimálně 18 let,
- schopnost chůze a schopnost samostatného stoje bez opory po dobu 15 minut,
- schopnost porozumět všem pokynům.

Cvičení probíhalo v domácím prostředí každý den 15-20 minut podle aktuální kondice pacienta. Pacienti využívali terapeutické scény Šachovnice a Vesmír. Do záznamového archu zapisovali délku cvičení a případné zdravotní komplikace, nebo technické problémy při využívání systému.

Provedla jsem statistickou analýzu dat zaměřenou na detekci zlepšení v testu BBS a ve zkrácení času potřebného ke splnění terapeutického setu herních scén. Podle výsledků Shapiro-Wilk testu měly naměřené hodnoty normální rozdělení. Pro statistickou analýzu dat jsem použila párový t-test.

V testu BBS došlo ke statisticky významnému zlepšení na hladině významnosti $p = 0,008$ s průměrným zlepšením o 4,4 bodu. V čase potřebném ke splnění terapeutického setu herních scén došlo ke statisticky významnému zlepšení na hladině významnosti $p < 0,001$ s průměrným zlepšením o 337 vteřin, tj. 26,1 %.

V záznamu terapie neuvedli pacienti žádné nepříjemné pocity, nežádoucí účinky ani jiné komplikace. Ověřili jsme využitelnost vyvíjeného systému v domácím prostředí pacientů s poruchami rovnováhy.

Vlastní přínos a publikační výstupy

Při testování u neurologických pacientů jsem se aktivně podílela při tvorbě metodiky, práci s pacienty, analýze dat a prezentaci výsledků. Výsledky jsem prezentovala v příspěvku s názvem „Využití Homebalance u pacientů po poškození mozku“ na konferenci 10. Pfeifferovy dny na Klinice rehabilitačního lékařství VFN a 1. LF UK [44], v příspěvku „Možnosti domácí a skupinové terapie s využitím interaktivního systému Homebalance“ na konferenci V. Kladrubské neurorehabilitační interdisciplinární sympozium [45] a v recenzovaném článku v časopisu Rehabilitácia [36].

TERAPIE PORUCH ROVNOVÁHY U PACIENTKY PO CÉVNÍ MOZKOVÉ PŘÍHODĚ S VYUŽITÍM VIZUÁLNÍ ZPĚTNÉ VAZBY A STABILOMETRICKÉ PLOŠINY V DOMÁCÍM PROSTŘEDÍ

Autoři: M. Janatová ^{1,2,3}, M. Tichá^{1,3}, M. Gerlichová^{1,2}, T. Řeháková¹, O. Švestková ¹
Prac.: ¹Klinika rehabilitačního lékařství 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze, ²Centrum podpory aplikačních výstupů a spin-off firem 1. LF UK v Kladně, ³Společné pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI ČVUT a 1. LF UK, ČR

Souhrn

Východiska: Pro obnovu a zachování maximálně možné soběstačnosti pacientů po poškození mozku je nutná koordinovaná interprofesní rehabilitace, která by měla trvat tak dlouho, dokud se pacient zlepšuje. Součástí moderní rehabilitace je využití technických prostředků v řízené domácí terapii.

Metody: V tomto článku bude popsáno využití stabilometrické plošiny (Nintendo Wii balance board) a vizuální zpětné vazby v terapii poruch rovnováhy. Metoda bude prezentována na případové studii s využitím interaktivního systému Homebalance (Nintendo Wii balance board + tablet + software) v rámci čtyřtýdenní každodenní řízené autoterapie v domácím prostředí.

Výsledky: Po terapii došlo v případové studii ke zlepšení v testech Berg Balance scale o 12 bodů a v Timed, Up and Go test o 5.6 vteřin. V posturografickém vyšetření došlo ke zlepšení v Limits of Stability z 9 714 mm² na 11 018 mm².

Závěry: V pilotní studii je sledován efekt terapie s využitím interaktivního systému Homebalance. Systém je využitelný v řízené domácí terapii pacientů s poruchou rovnováhy po cévní mozkové příhodě.

Klíčová slova: stabilometrická plošina, vizuální zpětná vazba, domácí terapie, poruchy rovnováhy, rehabilitace

Janatová ^{1,2,3}, M., Tichá^{1,3}, M., Gerlichová^{1,2}, M., Řeháková¹, T., Švestková ¹, O.: Therapy of balance disorders in patient after brain stroke with the use of visual feedback and stabilometric platform in home environment

Janatová ^{1,2,3}, M., Tichá^{1,3}, M., Gerlichová^{1,2}, M., Řeháková¹, T., Švestková ¹, O.: Therapie der Gleichgewichtsstörungen bei der Patientin nach dem Gefäß Schlaganfall mit der Verwendung der visuellen rückgängigen Bindung und der stabilometrischen Plattform in der Haus-Atmosphäre

Summary

Basis: To restore and preserve the maximum possible self-sufficiency, patients recovering from brain injury require coordinated inter-professional rehabilitation, which should last as long as the patient continues to improve. The use of technological devices in controlled home therapy forms a part of modern rehabilitation.

Methods: This paper describes the use of stabilometric platform (Nintendo Wii balance board) and visual feedback in the treatment of balance disorders. The method is presented in the form of a case study using the interactive system Homebalance (Nintendo Wii balance board + tablet + software) within the course of

Zusammenfassung

Die Ausgangspunkte: für die Wiederaufnahme und Einhaltung der maximal möglichen Selbstständigkeit der Patienten nach der Gehirnschädigung ist eine koordinierte interprofessionelle Rehabilitation nötig, die solange dauern sollte, bis sich der Patient verbessert. Der Bestandteil der modernen Rehabilitation ist die Verwendung der technischen Mittel in der geregelten Haus-Therapie.

Die Methoden: in diesem Artikel wird die Verwendung der stabilometrischen Plattform (Nintendo Wii balance board) beschrieben und der visuellen rückgängigen Bindung in der Therapie der Gleichgewichtsstörungen. Die

four weeks of daily managed auto-therapy in the home environment.

Results: After the therapy an improvement of 12 points was shown in the Berg Balance Scale test and in the Timed Up and Go test there was an improvement of 5.6 seconds. In posturographic examinations there was an improvement in Limits of Stability from 9714 mm² to 11018 mm².

Conclusions: In the pilot study the effects of therapy with the use of the Homebalance system were monitored. The system is appropriate to controlled home treatment of patients who suffer from balance disorders and are recovering from a stroke.

Key Words: stabilometric platform – visual feedback – home based therapy – stability disorders – rehabilitation

Methode wird auf eine Fallstudie mit der Verwendung des interaktiven Systems Homebalance (Nintendo Wii balance board + Tablett + Software) im Rahmen der vierwöchigen täglichen geregelten Autotherapie in der Haus-Atmosphäre präsentiert.

Die Ergebnisse: nach der Therapie kam es in der Fallstudie zur Verbesserung in den Testen Berg-Balance-Skala um 12 Punkten und in Timed Up and Go Test um 5,6 Sekunden. In der posturographischen Untersuchung kam es zur Verbesserung in Limits of Stability von 9 714 mm² auf 11 018 mm².

Die Schlussfolgerungen: in der Pilotstudie ist der Effekt der Therapie mit der Verwendung des interaktiven Systems Homebalance verfolgt. Das System ist in der geregelten Haus-Therapie bei den Patienten mit der Gleichgewichtsstörung nach dem Gefäß Schlaganfall verwendbar.

Die Schlüsselwörter: stabilometrische Plattform - visuelle rückgängige Bindung – Haus-Therapie – Gleichgewichtsstörung - Rehabilitation

Úvod

V rámci koordinované interprofesní rehabilitace pacientů po poškození mozku lze využít jako doplněk nové technické prostředky, jako například virtuální realitu a robotické systémy. Virtuální realitu můžeme definovat jako typ rozhraní mezi uživatelem a počítačem (televizí, tabletem), které umožňuje interakci s virtuálním prostředím a v reálném čase umožňuje zpětnou vazbu (Lohse et al., 2014). V rehabilitaci je využívána v terapii poruch rovnováhy a ke zlepšení dynamické rovnováhy u zdravých osob (Gatica-Rojas, Méndez-Rebolledo, 2014).

V kombinaci s virtuální realitou je využívána tzv. biologická zpětná vazba. Jedná se o metodu, při níž jsou snímané fyziologické veličiny vhodnou formou prezentovány pacientovi. K terapii poruch rovnováhy je využívána biologická zpětná vazba prostřednictvím vizuálních (Barcala et al., 2013), akustických (Fleury et al., 2013, Mirelman et al., 2011) a vibrotaktilních signálů (Sienko et al., 2013). Lze také využít elektrotaktilní stimulaci jazyka (Badke et al., 2011, Čákr et al., 2012). V případě terapie poruch rovnováhy na stabiometrické plošině se na obrazovce zobrazuje poloha průmětu těžiště těla (Giggins, Persson, Caulfield, 2013), takže jde o vizuální zpětnou vazbu. Pro analýzu

chůze lze využít zařízení, která dávají informaci o velikosti zatížení v různých částech chodidla. (Svoboda et al., 2014)

Autoři mnohých studií uvádějí možnost využití komerčních herních systémů s pohybovými senzory pro terapii poruch motorických funkcí (Galna et al., 2014, Taylor et al., 2011, Forsberg, Nilsagård, Boström, 2015, Llorés et al., 2012). Často jsou ve studiích využity herní konzole Xbox s kamerovým systémem Kinect, Nintendo s plošinou Wii Balance Board a PlayStation s kamerou Eye Toy. Všechny uvedené systémy obsahují pohybové senzory, poskytují zpětnou vazbu a jsou cenově dostupné.

Pozitivní efekt tréninku rovnováhy s využitím herní konzole Nintendo Wii u seniorů byl pozorován ve zlepšení v Berg Balance Scale oproti kontrolní skupině (Bieryla a Dold, 2013). Pozitivní vliv této terapie byl zjištěn také ve zvýšení rychlosti chůze (Agmon et al., 2011). Ve studii efektu domácí terapie s využitím kamery Kinect byl prokázán pozitivní efekt na stabilitu u pacientů s Parkinsonovou nemocí (Galna et al., 2014)

Hry jsou využívány také u pacientů s různými onemocněními jako je například cévní mozková příhoda (Lloréns et al., 2012, Taylor et al., 2011, Wüest et al., 2014), Parkinsonova nemoc (Galna et al., 2014,

Testovaný soubor – domácí terapie	ženy	muži
počet pacientů	8	7
průměrný věk	61 let ± 10,8	62 let ± 12,6
časový údaj příhody k vstupnímu vyšetření	5 let ± 3,3	4 roky ± 4,6

Tab. 1

Taylor et al., 2011), roztroušená skleróza (Forsberg, Nilsagård, Boström, 2015), dětská mozková obrna, cerebelární ataxie, Downův syndrom (Dupalová, Šlachťová, Doleželová, 2013) nebo po amputacích (Taylor et al., 2011).

Mnoho autorů se shoduje v tom, že herní systémy nacházejí uplatnění také v domácí terapii (Bieryla, Dold, 2013, Forsberg, Nilsagård, Boström, 2015, Taylor et al., 2011, Wüest et al., 2014). Herní konzole jsou relativně finančně nenáročné. Komerčně prodávaná herní konzole Nintendo Wii je použitelná i pro trénink rovnováhy (Taylor et al., 2011, Wüest et al., 2014).

Hry vyvinuté zábavním průmyslem nejsou plně vhodným nástrojem pro terapii. Některé hry jsou obtížné nebo je pro plnění úkolů nutná rychlá interakce. Často jsou zaměřeny jen na hrubou motoriku a schází možnost individuálního nastavení. Zejména kvůli nemožnosti zacílit na konkrétní problém je přínosný vývoj specializovaných programů, které odpovídají schopnostem a potřebám konkrétních cílových skupin (Borghese et al., 2013).

Rehabilitační přístroje, vyvinuté pro diagnostiku a terapii pacientů s poruchami motorických funkcí, mají velmi vysokou pořizovací cenu, často velké rozměry a relativně složité uživatelské rozhraní. Z těchto důvodů vznikla potřeba vytvoření terapeutických systémů, které by byly přenosné, intuitivní, finančně dostupné a využitelné v domácím prostředí. Mezi tyto systémy patří například Easy Balance Virtual Rehabilitation eBaViR (Gil-Gómez et al., 2011), The Intelligent Game Engine for Rehabilitation IGER (Borghese et al., 2013) a námi vyvinutý systém HomeBalance.

Cíl

Cílem pilotní studie probíhající na Klinice rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze je zhodnotit efekt terapie s využitím stabilometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby, který je testován také v domácím prostředí pacientů po poškození mozku (Tab. 1).

V tomto článku je prezentována kazuistika pacientky s poruchou stability, která absolvovala čtyřtýdenní řízenou domácí terapii s využitím interaktivního systému Homebalance.

Metodika

Vstupní vyšetření bylo provedeno před začátkem terapie a výstupní vyšetření následovalo po čtyřech týdnech řízené domácí terapie poruch rovnováhy s využitím systému Homebalance. K hodnocení efektu terapie bylo využito posturografické vyšetření na přístroji Synapsis Posturography System a standardizované testy Berg Balance Scale a Timed, Up and Go test. Indikací pro zařazení do studie byla porucha rovnováhy v důsledku cévní mozkové příhody a stabilní stoj pacienta bez opory. Kontraindikace byly těžká spasticita, závažný kognitivní deficit (neschopnost pochopit zadání a vykonávat cvičení), neschopnost samostatné vertikalizace a stabilního stoje bez opory, těžká porucha čítá a zraku, epilepsie, závažná psychická porucha (například těžký organický psychosyndrom), nestabilní fraktury, těžká osteoporóza.

Použité technické vybavení

Systém Homebalance byl vyvinut pro pacienty s poruchou rovnováhy v Centru podpory aplikačních výstupů a spin-off firm na 1. LF UK v Kladně ve spolupráci

š Fakultou biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického na Kladně.

Pro využití v domácím prostředí systém obsahuje režim se zjednodušeným ovládáním a předem nastavitelnou obtížností tréninku pro individuálního uživatele. Vizualní zpětná vazba je realizována prostřednictvím tabletu nebo monitoru.

Informace mezi stabilometrickou plošinou a tabletem jsou přenášeny pomocí technologie Bluetooth. Úkolem uživatele je změnami polohy svého těžiště pohybovat zobrazeným objektem a plnit zadané úkoly. (Obr. 1) Pro větší motivaci jsou ve scénách zařazeny herní prvky.

Úlohy je možné provádět v různých modifikacích stoje, například ve stoji s chodidly na šíři boků, ve stoji o zúžené bázi, ve stoji na jedné noze uprostřed plošiny, v tandemovém stoji (Obr. 2).

Systém je možné využít také v sedě na plošině, pokud jsou všechny 4 rohy plošiny umístěny na pevné podložce ve stejné výšce, nebo v sedě s plošinou pod chodidly.

Kazuistika

Pacientka ve věku 63 let, 8 měsíců po ischemické cévní mozkové příhodě s reziduální levostrannou hemiparézou, docházela ambulantně na Kliniku rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze, kde absolvovala denní rehabilitační stacionář pacientů po poškození mozku (dvakrát 6 týdnů). S ambulantní terapií na stabilometrické plošině (Synapsis Posturography System) měla již zkušenosti.

Při vstupním vyšetření byl stoj stabilní pouze o širší bázi, v ostatních modifikacích stoje byly přítomny výrazné titubace. Stabilita stoje se zhoršovala s užší bází a se zavřenýma očima. Tandemový stoj zvládla pouze s levou dolní končetinou vpředu, s pravou dolní končetinou vpředu byl možný pouze semitandem. Stoj na pravé dolní končetině nezvládla, stoj na levé dolní končetině byl možný po dobu 5 vteřin.

Byla schopna samostatné chůze bez kompenzačních pomůcek a bez dopomoci, v terénu využívala vycházkovou hůl. Byl přítomný patologický vzorec spastické chůze (levá dolní končetina), chůze byla bez souhybu horních končetin. Na levé dolní končetině lehce vážla švihová fáze a odval, byla přítomna cirkumdukce.

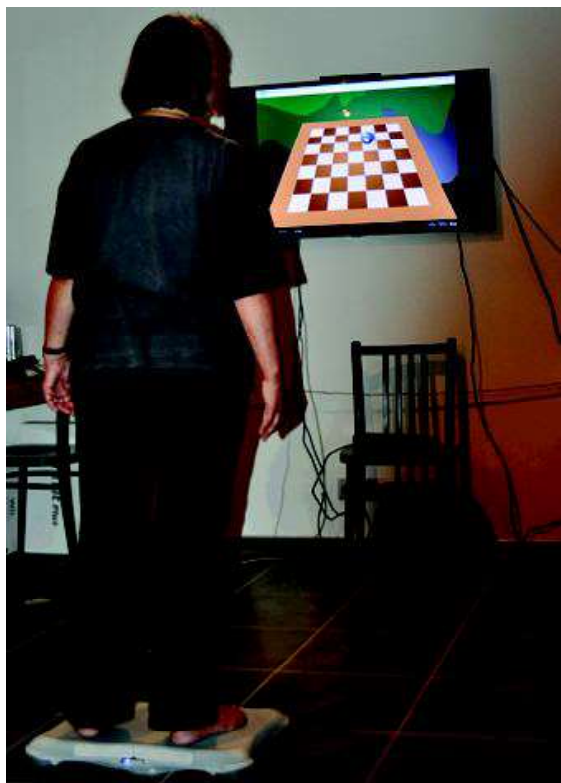
V posturografickém vyšetření bylo vyhodnoceno riziko pádu 2. stupně. Výsledek v Timed, Up and Go testu byl 23.4 vteřin, skóre v Berg Balance Scale byl 41 bodů z 56 možných.

Pacientka splňovala kritéria pro zařazení do studie s využitím stabilometrické plošiny Wii balance board a vizualní zpětné vazby v domácím prostředí.

Průběh terapie

Před začátkem terapie byla pacientka poučena o způsobu ovládání a používání systému Homebalance a o bezpečnostních pravidlech. Prakticky si tuto terapii vyzkoušela a byly jí zodpovězeny dotazy. Byla poučena o správném stoji a o korektním provádění cvičení. Bylo ověřeno, že pacientka je schopná korektně vykonávat zadané cviky a je tedy možné zapůjčit systém pro domácí terapii. Domácí terapie probíhala 4 týdny. V průběhu těchto čtyř týdnů pacientka neabsolvovala jinou pohybovou terapii. Pacientka dostala instrukci cvičit na plošině 20 minut denně dle své aktuální kondice. Pokud některý den necvičila, zaznamenala důvod, proč terapeutickou jednotku vynechala.

Ze čtyř týdnů pacientka necvičila 7 dní (v prvních dvou týdnech vynechala čtyřikrát, v druhých dvou týdnech vynechala třikrát). Čtyřikrát uvedla jako důvod nedostatek času, dvakrát se jí nepovedlo připojit plošinu k tabletu a jedenkrát uvedla jako důvod návštěvu lékaře. První dva týdny terapie pacientka cvičila průměrně 6 minut a 17 vteřin denně. Zbýlé dva týdny cvičila průměrně 15 minut a 25 vteřin denně. V průběhu terapie nevyužila možnost telefonické konzultace a nezaznamenala žádné nežádoucí účinky.



Obr. 1

Výsledky

Po čtyřtýdenní terapii došlo k zlepšení v testech Berg Balance scale o 12 bodů (vstupní vyšetření 38 bodů, závěrečné vyšetření 50 bodů) a v Timed, Up and Go test o 5.6 vteřin (vstupní vyšetření 23.4, závěrečné vyšetření 17.4 vteřin). Zlepšení bylo patrné při kineziologickém rozboru stoje. Pacientka zvládla bez titubací stoj o úzké bázi s otevřenýma očima, při zavřených očích a úzké bázi mírné titubace nastaly po pěti vteřinách. Tandemový stoj provedla s levou dolní končetinou vpřed, s pravou dolní končetinou vpřed zvládla tandemový stoj s nakročením, v obou případech bez titubací.

V posturografickém vyšetření (Synapsis Posturography system) při měření maximálních volných výchylek těžiště do všech směrů se plocha opsaná průmětem těžiště zvětšila z 9 714 mm² na 11 018 mm² a bylo patrné zlepšení ve schopnosti přenášení váhy na levou dolní končetinu. Pacientka subjektivně pozorovala zlepšení stability a pocítovala, že chodí rychleji a bezpečněji. Terapii hodnotila jako motivující a příjemnou v domácím prostředí (pro ni důležitá eliminace transportu).



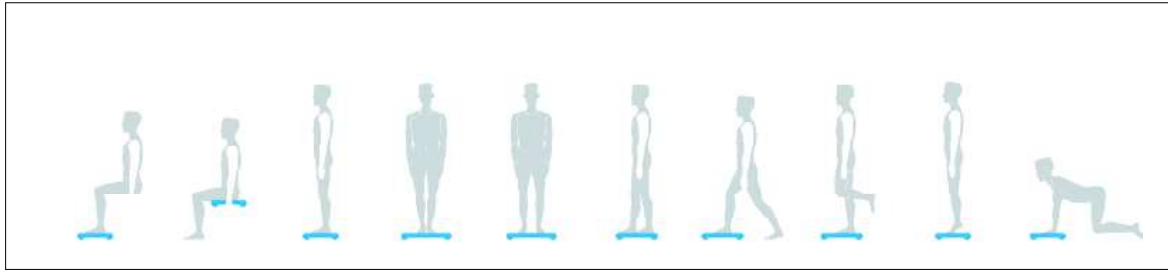
Obr. 2

Diskuse

Dlouhodobá interprofesní rehabilitace pacientů po cévní mozkové příhodě by měla trvat, dokud se stav pacienta zlepšuje. Cílem je dosáhnout u každého jednotlivce maximální kvality života. (Švestková, Svěčená, 2014) Vzhledem k finanční a časové náročnosti dlouhodobé rehabilitace je výhodné využívat také prostředky pro domácí terapii. Pacient je spokojen, že může cvičit doma a nemusí absolvovat časté, obvykle náročné dojíždění. Biologická zpětná vazba na herním principu pomáhá kontrolovat správnost prováděných pohybů a zároveň dělá terapii zábavnější. Pacient vidí své aktuální výsledky i postupné zkrácení času potřebného ke splnění referenční scény a tím je motivován k dalšímu cvičení. Důležité a přínosné je také zapojení členů rodiny, kteří jsou předem poučeni o terapii a aktivně se účastní interaktivní terapie spolu s pacientem.

Závěr

Moderní technické prostředky jsou v dnešní době v koordinované interprofesní rehabilitaci nezbytné.



Obr. 3

V pilotní studii je sledován efekt řízené domácí terapie poruch rovnováhy s využitím interaktivního systému Homebalance. Systém poskytuje audiovizuální zpětnou vazbu, která zvyšuje motivaci a umožňuje kontrolu správnosti cvičení. Při testování bylo ověřeno, že je systém využitelný v domácím prostředí pacienta. Aktuálně hodnotíme výsledky indikované skupiny pacientů a vyvíjíme další funkce systému, jako je online monitoring pacienta a funkce virtuálního terapeuta. Systém Homebalance bude dostupný také pro externí pracoviště, včetně školení personálu fyzioterapeutem se specializací na využití technických prostředků.

Výzkum probíhal na 1. LF UK a FBMI ČVUT a byl podpořen Grantovou agenturou Univerzity Karlovy v Praze (projekt č. 253172/627912).

Literatúra

1. AGMON, M. et al. 2011. A pilot Study of Wii Fit Exergames to Improve Balance in Older Adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy* [online]. 2011, roč. 34, č. 4 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.1519/JPT.0b013e3182191d98. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
2. BADKE, M. B. et al. Tongue-Based Biofeedback for Balance in Stroke: Results of an 8-Week Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2011, roč. 92, č. 9 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.1016/j.apmr.2011.03.030. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999311002486>
3. BARCALA, L. et al. 2013. Visual Biofeedback Balance Training Using Wii Fit after Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Physical Therapy Science* [online]. 2013, roč. 25, č. 8 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1589/jpts.25.1027. Dostupné

z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3820213/>

4. BIERYLA, K. N. DOLD. 2013. Feasibility of Wii Fit training to improve clinical measures of balance in older adults. *Clinical Interventions in Aging* [online]. 2013, roč. 8 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.2147/cia.s46164. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3699053/>
5. BORGHESE, N. et al. 2013. Computational Intelligence and Game Design for Effective At-Home Stroke Rehabilitation. *Games for Health Journal* [online]. 2013, roč. 2, č. 2 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1089/g4h.2012.0073. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3833380/>
6. CHEN, J. F. SHAW. 2014. Progress in sensorimotor rehabilitative physical therapy programs for stroke patients. *World Journal of Clinical Cases* [online]. 2014, roč. 2, č. 8 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.12998/wjcc.v2.i8.316. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4133420/>
7. ČAKRT, O. et al. 2012. Balance rehabilitation therapy by tongue electro-tactile biofeedback in patients with degenerative cerebellar disease. *NeuroRehabilitation* [online]. 2012, roč. 31, č. 4 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.3233/NRE-2012-00813. Dostupné z: <http://iospress.metapress.com/content/1005716353u75q21/?genre=article&issn=1053-8135&volume=31&issue=4&spage=429>
8. FLEURY, A. et al. 2013. Evaluation of a Smartphone-based audio-biofeedback system for improving balance in older adults - A pilot study. In: *Engineering in Medicine and Biology Society, 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*. 2013 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.1109/EMBC.2013.6609721
9. FORSBERG, A. NILSAGLRD, Y. BOSTRÖM, K. 2015. Perceptions of using videogames in rehabilitation: a dual perspective of people with multiple sclerosis and physiotherapists. *Disabil Rehabil.* [online].



Obr. 4

2015, roč. 37, č. 4 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.3109/09638288.2014.918196. Dostupné z: <http://informahealthcare.com/doi/pdf/10.3109/09638288.2014.918196>

10. GALNA, B. et al. 2014. Retraining function in people with Parkinson's disease using the Microsoft kinect: game design and pilot trstiny. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2014, roč. 11, č. 1 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1186/1743-0003-11-60. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4022057/>

11. GATICA-ROJAS, V. G. MÉNDEZ-REBOLLEDO. 2014. Virtual reality interface devices in the reorganization of neural networks in the brain of patients with neurological diseases. *Neural Regeneration Research*. 2014, roč. 9, č.. DOI: 10.4103/1673-5374.131612

12. GIGGINS, O. M. PERSSON, U. CAULFIELD, B. 2013. Biofeedback in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2013, roč. 10, č. 1 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1186/1743-0003-10-60. Dostupné z: <http://www.jneuroengrehab.com/content/10/1/60>

13. GIL-GÓMEZ, J. et al. 2011. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2011, roč. 8, č. 1 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1186/1743-0003-8-30. Dostupné z: <http://www.jneuroengrehab.com/content/8/1/30>

14. LLORENS, R. et al. Balance rehabilitation using custom-made Wii Balance Board exercises: clinical effectiveness and maintenance of gains in acquired brain injury population. In: *9th International Conference on Disability,*

Virtual Reality and Associated Technologies. ISBN 978-0-7049-1545-9

15. LOHSE, K. R. et al. 2014. Virtual Reality Therapy for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis Exploring Virtual Environments and Commercial Games in Therapy. *PLoS ONE* [online]. 2014, roč. 9, č. 3 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1371/journal.pone.0093318. Dostupné z: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0093318>

16. MIRELMAN, A. et al. 2011. Audio-Biofeedback training for posture and balance in Patients with Parkinson's disease. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2011, roč. 8, č. 1 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.1186/1743-0003-8-35. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3142211/>

17. SIENKO, K. H. et al. 2013. The effect of vibrotactile feedback on postural sway during locomotor activities. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2013, roč. 10, č. 1 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.1186/1743-0003-10-93. Dostupné z: <http://www.jneuroengrehab.com/content/10/1/93>

18. ŠVESTKOVÁ, O. SVĚCENÁ, K. 2014. Ergoterapie jako součást interprofesní rehabilitace. *Rehabilitácia*. 2014, č. 3, s. 139-147. DOI: ISSN 0375-0922

19. SVOBODA, Z. HECKEL, A. GALLO, J. KRISTINÍKOVÁ, J. JANURA, M. 2014. Vliv rehabilitační intervence a hipoterapie na rozložení tlaků na kontaktu nohy s podložkou při chůzi u pacientů s chronickými degenerativními poruchami páteře. *Rehabilitácia*. 2014, č. 3, s. 139-147. DOI: ISSN 0375-0922

20. TAYLOR, M. J. D. et al. 2011. Activity-promoting gaming systems in exercise and rehabilitation. *The Journal of Rehabilitation Research and Development* [online]. 2011, roč. 48, č. 10 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1682/jrrd.2010.09.0171. Dostupné z: <http://www.rehab.research.va.gov/jour/11/48/10/page1171.html>

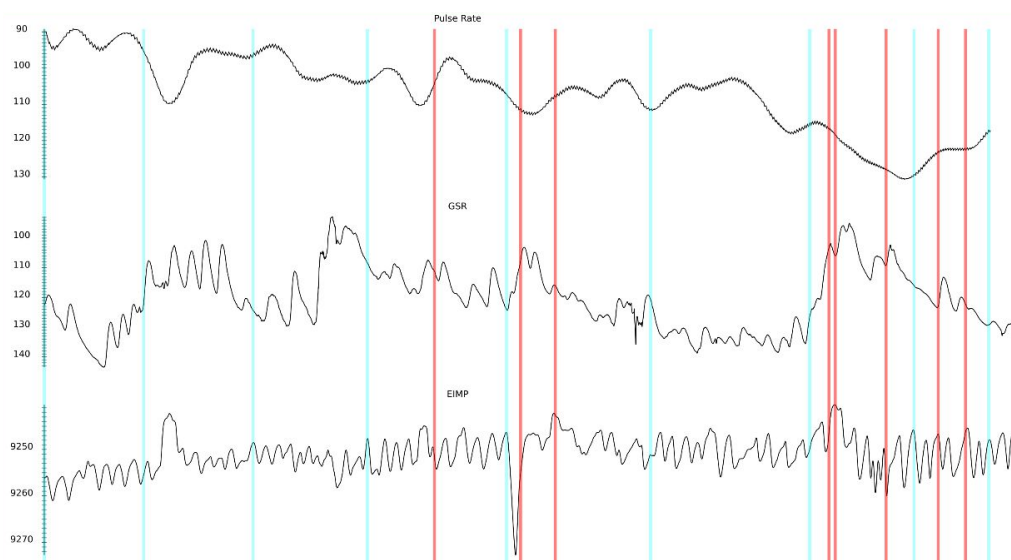
21. WÜEST, S. et al. Usability and Effects of an Exergame-Based Balance Training Program. *Games for Health Journal* [online]. 2014, roč. 3, č. 2 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1089/g4h.2013.0093. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3996993/>

Adresa autora: m.janatova@gmail.com

4.2.5 Monitoring fyziologických funkcí při testování scén

Pro ověření hypotézy, že monitoring biotelemetrickým systémem v průběhu tréninku s audiovizuální zpětnou vazbou umožňuje hodnocení změn psychofyziologického stavu člověka a pro získání komplexních informací o psychofyziologickém stavu jsem u zdravých probandů provedla v průběhu testování virtuálních scén monitoring fyziologických funkcí pomocí systému VLV Lab. Jako vhodné parametry jsem zvolila tepovou frekvenci, elektrickou impedanci hrudníku a kožní odpor. Manuálně jsem zaznamenala časové značky v době, kdy se objevily nestandardní situace (ztráta rovnováhy, dezorientace v herní scéně, viditelné známky stresu nebo diskomfortu atd.).

Na obrázku č. 26 je vidět ukázka vizualizace naměřených parametrů při plnění terapeutické scény. Porovnávána je tepová frekvence a kožní odpor, pomocí kterých lze hodnotit míru stresu. Dále je porovnána elektrická impedance hrudníku, pomocí které lze monitorovat změny dechové frekvence například v důsledku zvýšené fyzické nebo i psychické aktivity. Červeně jsou zobrazeny časové značky v době viditelného stresu, tyrkysově události ve hře, kdy proband úspěšně dosáhl dílčích cílů v tréninkové scéně.



Obrázek 26 Ukázka porovnání údajů z VLV Lab

Kvalitativním hodnocením získaných údajů jsme zjistili, že v některých případech byly zjištěny změny v hodnotách naměřených systémem VLV Lab i v okamžicích, kdy pacient prožíval zvýšenou hladinu stresu, která nebyla terapeutem zaznamenána. Pouhým pozorováním nebo analýzou výsledků z tenzometrické plošiny bez využití

dalších senzorů mohou být tedy některé změny psychofyziologického stavu pacienta přehlédnuty.

Systém VLV Lab je možné pro monitoring probandů v průběhu tréninku rovnováhy využít v laboratorním prostředí, vzhledem k nízké odolnosti komponent a kabeláži ale není vhodný pro využití v domácím prostředí. Pro monitoring v domácím prostředí jsme dále úspěšně testovali systém FlexiGuard, který umožňuje monitoring fyziologických funkcí bez nutnosti kabelového připojení s využitím dostatečně odolných komponent. Zjistili jsme, že tento systém je vhodný pro měření tepové frekvence a energetického výdeje v průběhu domácí telerehabilitace.

Na základě tohoto testování jsme ověřili hypotézu, že monitoring fyziologických funkcí biotelemetrickým systémem v průběhu tréninku s audiovizuální zpětnou vazbou umožňuje hodnocení změn psychofyziologického stavu člověka.

Vlastní přínos a publikační výstup

Výsledky testování systému VLV Lab jsme publikovali ve výše zmíněné knize Big Data for the Greater Good vydavatelství Springer v kapitole s názvem „A Novel Big Data-Enabled Approach, Individualizing and Optimizing Brain Disorder Rehabilitation“, na které jsem se jako prvoautorka podílela při tvorbě metodiky, měření probandů, vyhodnocení dat a psaní publikace [43].

Výsledky testování systému FlexiGuard jsme publikovali ve speciálním čísle časopisu Electronics MDPI v článku „Measuring of the Energy Expenditure during Balance Training Using Wearable Electronics.“, na kterém jsem se podílela při stanovení teoretických východisek, hodnocení výsledků a sepsání článku [46].

Ochrana duševního vlastnictví

Pro výsledek výzkumu v oblasti vývoje technického řešení pro monitoring psychofyziologického stavu člověka jsme realizovali ochranu duševního vlastnictví formou patentu č. 306895 Biotelemetrický systém pro podporu monitorování psychofyziologického stavu člověka.

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

306 895

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

A61B 5/16 (2006.01)
A61B 5/0402 (2006.01)
A61B 5/02 (2006.01)
A61B 5/01 (2006.01)
A61B 5/053 (2006.01)
A61B 5/0408 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2014-979**
(22) Přihlášeno: **31.12.2014**
(40) Zveřejněno: **07.07.2016**
(Věstník č. 27/2016)
(47) Uděleno: **19.07.2017**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **30.08.2017**
(Věstník č. 35/2017)

(56) Relevantní dokumenty:
M. Monajati et al.: "Emotions States Recognition Based on Physiological Parameters by Employing of Fuzzy-Adaptive Resonance Theory" International Journal of Intelligence Sciences, 2, 166-175 (2012); V. Le Cam et al.: "A smart and wireless sensors network for cable health monitoring" NDTCE' 09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nantes, France, 30.6 - 3.7.2009, <http://www.ndt.net/article/ndtce2009/papers/3.pdf>; ISVaV: RIV/68407700:21460/11:00190914 - Experimentální vzorek základní modulární snímací jednotky pro podporu výzkumu dohledových systémů pro členy IZS (2011).
CN 201200410 Y; US 2012/0245480 A1; US 2010/292594 A1; CZ 2013-59 A3.

(73) Majitel patentu:
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta
biomedicínského inženýrství, Kladno, CZ

(72) Původce:
Ing. Jan Kašpar, Jičín, CZ
Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D., Holubice, CZ
MUDr. Markéta Janatová, Praha 10, CZ
Ing. Pavel Smrčka, Ph.D., Praha 6, CZ
Ing. Martin Vítězník, Praha 5, CZ
Ing. Karel Hána, Ph.D., Říčany u Prahy, CZ
Ing. Tomáš Veselý, Vysoký Újezd, CZ
Ing. Jan Mužík, Ph.D., Praha 10, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Václav Kratochvíl, Husníkova 2086/22, 158 00
Praha 13

(54) Název vynálezu:
**Biotelemetrický systém pro podporu
monitorování psychofyzilogického stavu
člověka**

(57) Anotace:
Vynález se týká multifunkčního biotelemetrického systému pro podporu monitorování psychofyzilogického stavu člověka v reálném čase, při kterém se snímají fyziologické veličiny, které se dále vyhodnocují. Systém obsahuje alespoň jednu kompaktní bezdrátovou snímací jednotku (1) opatřenou alespoň jednou translační jednotkou (2) wifi access pointů a jednu řídicí/sběrnou jednotku (3), přičemž každá snímací jednotka (1) obsahuje EKG senzor (4), senzor (5) pro měření kožního odporu, senzor (6) pro měření tepové dechové křivky, senzor (7) tělesné teploty, senzor (8) teploty okolí, senzor (9) aktivity 3D aktigram, senzor (10) pro měření a vyhodnocení HRV variability srdečního rytmu a dále signální LED (11) a událostní tlačítko (12).

CZ 306895 B6

Biotelemetrický systém pro podporu monitorování psychofyziologického stavu člověka

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení pro on-line sledování a klasifikaci psychofyziologického stavu člověka. Zařízení je určeno pro monitorování osob například během medicínských nebo psychologických experimentů. Systém umožňuje sledování charakteristické odezvy organismu na stresové situace, jako jsou psychická, mentální a emoční zátěž a jiné sensorické, tj. vizuální, akustické a podobné podněty.

10

Dosavadní stav techniky

15

V současné době se při sledování psychofyziologického stavu sestavuje měřicí řetězec z více komerčně dostupných komponent: konvenčních medicínských senzorů, jako jsou například samolepicí jednorázové elektrody, univerzálního stolního polygrafického systému, doplněného o vstupní/výstupní jednotky pro nestandardní veličiny a dále nejméně jednoho řídicího počítače typu PC. Existuje také specializovaná a velmi zjednodušená varianta, využívaná v kriminalistice, takzvaný „detektor lži“, který je však specifický a velmi jednoúčelově zaměřený a není tudíž ve stávajících podobách použitelný pro obecný problém průběžné detekce psychofyziologického stavu.

20

Nevýhodou stávajícího heterogenního laboratorního řešení je obtížnost zajistit signálovou a datovou kompatibilitu a synchronizaci jednotlivých komponent a velmi obtížná konfigurovatelnost; z technického hlediska se jedná o nesystémové řešení – malá změna konfigurace může vyvolat přídatný řetězec nutných úprav na dalších neočekávaných místech celého systému. Problémem je i nízká rozšiřitelnost systému a obtížná synchronizace s dalšími zařízeními – pokud například medicínský, primárně pouze snímací, software na PC nepodporuje přidání a obsluhu stimulační jednotky, nebo jiné modalitty a datovou komunikaci s externími programy, není možné funkčně zakomponovat tyto moduly do systému.

25

30

Současná řešení dále v běžně dostupném uspořádání neumožňují vyhodnocení, neboli klasifikaci psychofyziologického stavu v reálném čase - on-line, protože k tomu není přizpůsoben ovládací software, který je primárně určen k diagnostice, což je zcela odlišná třída úloh než odhad klasifikace stavu v reálném čase.

35

Další nevýhodou stávajících systémů je skutečnost, že vzhledem ke své velikosti a laboratornímu uspořádání nejsou snadno přenosné - typicky se jedná o několik stolních zařízení, napevno instalovaných v dané laboratoři.

40

Podstatnou nevýhodou stávajících řešení je dále klasické kabelové propojení stolní snímací jednotky s řídicím počítačem PC - nevýhoda stacionarity měření – sledovaná osoba musí většinou při experimentech sedět či ležet a nemůže se volně pohybovat ani po místnosti, ve které probíhá experiment.

45

Jinou nevýhodou současných systémů jsou dále značné náklady na konstrukci celého měřicího řetězce, který se musí složit z několika univerzálnějších medicínských přístrojů a cena celého zařízení se v součtu pohybuje minimálně v řádu stovek tisíc Kč. Přesnost měření pomocí stávajících zařízení je pro sledování psychofyziologického stavu řádově vyšší, než je zapotřebí, proto je praktické využití současných systémů nevhodné. Nevýhodou je též velká mechanická citlivost stávajících systémů a vysoké odborné nároky na obsluhu a údržbu, neboť se jedná o propojené klasické medicínské přístroje, které vyžadují speciálně proškolenou obsluhu a dohled, aby byla zajištěna kvalitní aplikace senzorů na tělo sledované osoby a dále provedeno odborné nastavení všech přístrojů pro zajištění validity snímaných dat.

55

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny biotelemetrickým systémem pro podporu monitorování psychofyziologického stavu člověka v reálném čase, při kterém se snímají
 5 fyziologické veličiny, které se dále vyhodnocují, podle tohoto vynálezu. Jeho podstatou je to, že obsahuje alespoň jednu kompaktní bezdrátovou snímací jednotku opatřenou alespoň jednou translační jednotkou wifi access pointů a jednu řídicí/sběrnou jednotku. Každá snímací jednotka obsahuje EKG senzor, senzor pro měření kožního odporu, senzor pro měření tepové dechové křivky, senzor tělesné teploty, senzor teploty okolí, senzor aktivity 3D aktigram, senzor pro
 10 měření a vyhodnocení HRV variability srdečního rytmu a dále signální LED a událostní tlačítko.

Řídicí/sběrná jednotka je s výhodou opatřena programovatelným zařízením pro analýzu vstupních údajů a v případě změny těchto údajů oproti dlouhodobému stavu vstupem do modulu pro zpětnou vazbu pro informování rodiny uživatele a/nebo psychoterapeuta a/nebo psychiatra o změně psychického stavu uživatele s cílem předejít nežádoucím změnám stavu uživatele.
 15

Řídicí/sběrná jednotka je ve výhodném provedení tvořena stolním PC, notebookem nebo tabletem.

Snímací jednotka je s výhodou provedena jako kapesní, v mechanicky odolném provedení a ke komunikaci s řídicím počítačem používá bezdrátové rozhraní - volitelně například Bluetooth a/nebo WiFi a/nebo ZigBee a/nebo jiné proprietární radiové rozhraní. Díky tomuto řešení se může sledovaná osoba volně pohybovat v dosahu použitého radiového rozhraní a taktéž celý systém je snadno a bez jakéhokoliv nastavování přenosný z místa na místo a díky bateriovému napájení je použitelný i v terénu.
 20
 25

Výhodou popsaného řešení je možnost integrovat vstupní senzory do flexibilního hrudního pásu a/nebo speciálního snímacího oděvu, s tím že zůstává zachována možnost upevnění pomocí klasických medicínských jednorázových senzorů, například Ag-AgCl elektrod pro EKG. Díky tomuto řešení se podstatně zjednodušuje aplikace zařízení v praxi a snižují se nároky kladené na obsluhu, zvyšuje se také kvalita měřených signálů, například vyšší odolnost vůči pohybovým artefaktům.
 30

Výhodou takového uspořádání je také možnost sdružit všechny vstupní/výstupní připojovací vodiče do jediného konektoru, jehož zasunutím do zdířky bezdrátové snímací jednotky se zařízení zapne, inicializuje, recalibruje, spojí se s řídicí jednotkou a tím automaticky započne monitorování, aniž by byl zapotřebí další konfigurační úkon.
 35

Zařízení tedy sestává ze vstupních senzorů dle požadované konfigurace, například EKG, GSR, teplota apod., volitelných výstupních stimulačních jednotek, například optických, akustických apod., kapesní snímací bezdrátové jednotky a řídicí jednotky PC, vybavené speciálním ovládacím software, který zajistí součinnost všech komponent, autokalibraci a kontrolu čidel, záznam průběhů a on-line klasifikaci a vizualizaci průběžného psychofyziologického stavu.
 40

Přístroj pracuje na principu neinvazivního povrchového snímání fyziologických veličin, jejich bezdrátového přenosu a on-line inteligentního počítačového vyhodnocení, jehož výsledkem je průběžný odhad stupně psychické zátěže resp. ohodnocení síly reakce na jednotlivé podněty pomocí speciálně vyvinutých vestavěných algoritmů
 45

Díky popsanému technickému řešení je zařízení mechanicky odolnější než měřicí řetězec sestavený z několika běžně dostupných stolních medicínských přístrojů.
 50

Systém podle popisovaného technického řešení je podstatně méně nákladný jak po stránce pořizovacích nákladů, tak i nároků na provoz, údržbu a zejména zaškolení obsluhy, přitom je zachována dostatečná přesnost měření pro monitorování psychofyziologického stavu.
 55

Komunikace probíhá přes bezdrátové rozhraní, přenáší se plný stream dat. Je použito rozhraní WIFI včetně možnosti roamingu, což umožňuje pokrytí většího prostoru, volitelně bluetooth či Xbee. Dále je umožněn remote přístup přes Internet, což umožňuje oddělit řízení experimentu s vizualizační jednotkou od prostředí probandů.

5

System umožňuje současný záznam na paměťovou, např. SD, kartu jak během bezdrátového přenosu tak i při ztrátě spojení s vizualizační jednotkou. Řešení má schopnost pracovat autonomně i při výpadku bezdrátového spojení na vizualizační jednotku - v takovém případě záznam na paměťovou kartu, následně automatická synchronizace.

10

Podstatnou výhodou je možnost současného monitorování více probandů - několika, až několika desítek v jedné časové ose.

Řešení umožňuje automatické vyhodnocení psychofyziologického stavu probanda a/nebo stavu psychické odolnosti na předložené podněty - míře vyvolaného stresu a velikosti reakce a/nebo rychlosti jeho reakce na předložené podněty.

15

Výhodou je možnost kontinuálního sledování jak v krátkodobém horizontu v řádu minut až desítek minut, tak i v delším časovém horizontu hodin až desítek hodin.

20

Další výhodou je možnost využít pro opakované vícenásobné sledování v průběhu dnů, měsíců i let. Ve stavu dlouhodobého sledování je využito řídicí jednotky a modulu programovatelné zařízení, které provádí dlouhodobou, tj. dny, měsíce, roky, analýzu vstupních údajů - počet SMS odeslaných uživatelem, počet kontaktů v sociálních sítích, počet příspěvků na sociálních sítích. Tyto počty vyhodnocuje a v případě změny těchto počtů, resp. změny trendu oproti dlouhodobému běžnému stavu uživatele, informuje s pomocí modulu pro zpětnou vazbu rodinu uživatele a/nebo psychoterapeuta/psychiatra o změně psychického stavu uživatele s cílem předejít nežádoucím změnám stavu uživatele.

25

30

Objasnění výkresu

Biotelemetrický systém bude blíže objasněn na příkladu konkrétního provedení, které je schematicky znázorněno na přiloženém výkresu.

35

Příklady uskutečnění vynálezu

Biotelemetrický systém pro podporu monitorování psychofyziologického stavu člověka v reálném čase, při kterém se snímají fyziologické veličiny, které se dále vyhodnocují, obsahuje alespoň jednu kompaktní bezdrátovou snímací jednotku 1 opatřenou alespoň jednou jednotkou 2 wifi access pointů a jednu řídicí/sběrnou jednotku 3, přičemž každá snímací jednotka 1 obsahuje EKG senzor 4, senzor 5 pro měření kožního odporu, senzor 6 pro měření tepové dechové křivky, senzor 7 tělesné teploty, senzor 8 teploty okolí, senzor 9 aktivity 3D aktigram, senzor 10 pro měření a vyhodnocení HRV variability srdečního rytmu a dále signální LED 11 a událostní tlačítko 12. Řídicí/sběrná jednotka 3 je opatřena programovatelným zařízením 13 pro analýzu vstupních údajů a v případě změny těchto údajů oproti dlouhodobému stavu vstupem do modulu 14 pro zpětnou vazbu pro informování rodiny uživatele a/nebo psychoterapeuta a/nebo psychiatra o změně psychického stavu uživatele s cílem předejít nežádoucím změnám stavu uživatele. Řídicí/sběrná jednotka 3 je tablet.

50

Jak je z příkladu znázorněném na přiloženém obr. patrné, sestává realizované zařízení z následujících součástí: snímací senzory 4 až 10 - jedná se o biokompatibilní povrchové snímače fyziologických veličin, v typickém provedení o elektrody pro elektrokardiogram EKG, kožní odpor GSR, tělesnou teplotu - teplotní čidlo, signalizační tlačítko událostí apod. Tyto senzory mohou být použity v klasickém medicínském provedení, například samolepicí jednorázové Ag-AgCl elektrody pro EKG a/nebo mohou být s výhodou vestavěné do flexibilního hrudního pásu a/nebo integrované do snímacího trikotu.

Součástí zařízení jsou dále volitelné výstupní jednotky - v typické konfiguraci se jedná o signalizační barevnou LED 11, univerzální událostní tlačítko 12. K připojení snímacích senzorů 4 až 10 a výstupních jednotek k bezdrátové snímací jednotce 1 slouží krátká propojovací kabeláž, která je vedena pouze v rámci těla sledované osoby, s maximální délkou 50 cm. Díky tomuto řešení je možné s výhodou použít bezdrátovou snímací jednotku 1 v kapesním provedení a umožnit sledované osobě volný pohyb po místnosti i mimo ni, v rámci protokolu experimentu.

K řídicí jednotce 3 je s pomocí bezdrátové infrastruktury 2 připojeno několik jednotek 1, ke kterým je připojena sada senzorů 4 až 10 a signalizační LED 11 a událostní tlačítko 12. Každá jednotka 1 a sada senzorů je umístěna na testovaného uživatele, kterému jsou předkládány podněty fyzické, nebo podněty uložené a/nebo generované na řídicí jednotce 3 a s pomocí signalizační LED 11 v podobě vizuálních a/nebo jiných stimulů. S pomocí senzorů 4 až 10 a/nebo událostního tlačítka 12 jsou zaznamenány reakce uživatele, které jsou v řídicí jednotce 3 uloženy, vizualizovány a vyhodnoceny za účelem posouzení jeho psychofyziologického stavu a/nebo stavu psychické odolnosti na předložené podněty - míře vyvolaného stresu a velikosti reakce a/nebo rychlosti jeho reakce na předložené podněty.

Toto zapojení lze použít pro kontinuální sledování jak v krátkodobém horizontu v řádu minut až desítek minut, tak i v delším časovém horizontu hodin až desítek hodin.

Dále lze využít pro opakované vícenásobné sledování v průběhu dnů, měsíců i let. Ve stavu dlouhodobého sledování je využito řídicí jednotky 3 a modulu programovatelné zařízení 13, které provádí dlouhodobou, tj. dny, měsíce, roky, analýzu vstupních údajů - počet SMS odeslaných uživatelem, počet kontaktů v sociálních sítích, počet příspěvků na sociálních sítích. Tyto počty vyhodnocuje a v případě změny těchto počtů, resp. změny trendu oproti dlouhodobému běžnému stavu uživatele, informuje s pomocí modulu pro zpětnou vazbu 14 rodinu uživatele a/nebo psychoterapeuta/psychiatra o změně psychického stavu uživatele s cílem předejít nežádoucím změnám stavu uživatele. Využití v psychologii a psychiatrii ke sledování změn osobností uživatelů při duševních poruchách – schizofrenie, manické poruchy, apod.

Bezdrátová snímací jednotka obsahuje moduly měřicích zesilovačů pro jednotlivé vstupní veličiny, rozhraní pro výstupní jednotky, procesorovou centrální jednotku s A/D převodníkem, která má v typickém uspořádání rozlišení 16 bitů a vzorkovací frekvenci nastavitelnou od 200 do 600 Hz a dále jednotku bezdrátového komunikačního rozhraní, která je v typickém provedení představována Bluetooth s dosahem cca 25 m. Typické parametry v popisovaném příkladu technického řešení jsou následující:

- EKG: rozsah ŠŠ 6 mV, frekvenční pásmo 0,05 až 150 Hz, vstupní odpor: 10 Ohmů, CMRR 104 dB,
- GSR: rozsah 0 až 1 000 000 Ohm, přesnost 10 %,
- Teplota: měřicí rozsah 35 až 45 °C, přesnost +/- 0,05 st. C, časová konstanta 0,1 s,
- Signalizace událostí: provedeno jako mechanický mikrospínač,
- Optická signalizace: vysoce svítivá LED dioda,
- Spínací digitální výstup: stav „zapnuto“: 3.3 V, max. zatížitelnost 10 mA, stav „vypnuto“: méně než 0.2 V,

- napájení: vestavěný LiPol akumulátor, doba provozu na jedno nabití v režimu s kontinuálním on-line bezdrátovým přenosem cca 10 hodin, v režimu s ukládáním na vestavěnou paměťovou kartu cca 2 dny. Externí nabíječka, doba nabíjení plně vybitého akumulátoru cca 4 hodiny,
- vestavěné hodiny reálného času zálohované lithiovým článkem,

5 - parametry komunikačního rozhraní snímací jednotky pro streamování měřených biosignálů v reálném čase:

technologie WiFi – snímací jednotka se chová jako server, ke kterému se řídicí/sběrný počítač vybavený měřicím software přihlašuje a dále s ním komunikuje pomocí BSD socketů, při znalosti IP adresy snímací jednotky, čísla komunikačního portu a případně klíče pro dešifrování dat;

10 komunikace může být buďto otevřená - open system, nebo šifrovaná pomocí WEP-128, případně WPA-PSK / WPA2-PSK;

typická topologie použité bezdrátové sítě: snímací jednotky připojeny k wifi access pointu dle standardu IEEE 802.11g, který funguje jako router a umožňuje přenos rychlostí až 54 Mbit/s, typicky 20 Mbit/s, v uzavřeném prostoru s dosahem cca 40 metrů, na přímou viditelnost až 150 m. Snímací jednotky mohou mít pevnou IP adresu z vybraného rozsahu, nebo přidělenou DHCP serverem vestavěným ve wifi access pointu. Řídicí/sběrný počítač je k wifi access pointu připojen typicky pomocí standardního ethernetového kabelu. V případě nutnosti pokrytí většího prostoru je možné použít automatické přepojování mezi více wifi access pointy – roaming;

20 řídicí mikroprocesor snímací jednotky: jádro ARM Cortex M3 (LPC1769), taktovací frekvence mikroprocesoru: podle režimu práce, až 120 MHz;

systémové požadavky: stolní PC a/nebo notebook a/nebo tablet, dostatečné pro provoz operačního systému MS Windows minimálně ve verzi 7 a/nebo Android ve verzi minimálně 4. Dostatečná volná kapacita úložného media - paměťové karty či pevného disku, minimálně v řádu stovek MB. WiFi nebo ethernet rozhraní;

25 automatické rozpoznání připojených jednotek, zobrazení náhledu časového průběhu všech signálů v reálném čase, detekce a automatické zotavení z komunikačních chyb;

možnost ukládání všech měřených signálů do datového souboru;

možnost zařadit algoritmy pro analýzu dat formou plug-in, např. modul pro analýzu variability srdečního rytmu, modul pro analýzu fyzické a psychické zátěže.

30 Uvedené parametry se týkají konkrétního příkladu realizace, koncepcí je ovšem systém modulární a je možné jej vybavit zákaznický na míru potřebnými vstupními/výstupními jednotkami a příslušnými plug-in pro obslužný software i pro další nestandardní potřeby zpracování a vizualizace. Součástí systému je též řídicí počítač, vybavený speciálním ovládacím programem, který umožňuje současný záznam všech sledovaných parametrů na pevný disk, on-line náhled měřených křivek, vkládání časových značek, odhad-klasifikaci psychofyzického stavu v reálném čase a průběžnou vizualizaci výsledku.

40 Řešení umožňuje záznam streamu měřených dat na vestavěnou paměťovou kartu, maximální délka záznamu závislá na počtu snímaných kanálů a zvolené vzorkovací frekvenci. Při vzorkovací frekvenci 500 Hz a současném využití čtyř 16 bitových kanálů je doba záznamu na paměťovou kartu cca 5 dnů,

45 Průmyslová využitelnost

Zařízení podle tohoto vynálezu lze využít ke sledování reakcí lidského organismu na podněty, u kterých se předpokládá typická odezva v běžných biologických signálech, měřitelných na povrchu těla. Typickým nasazením je vyhodnocení typu reakce na různé formy psychické, mentální a emoční zátěže během medicínských a psychologických experimentů, tj. odhad takzvaného psychofyzického stavu. Další možností použití systému je vyhodnocení reakcí na stresové podněty při práci a výcviku operátorů složitých technických zařízení, jako jsou například velíny

elektráren, letečtí dispečeri a podobně i u dalších profesí, u kterých je účelné sledovat psychofyziologický stav. Využití v psychologii a psychiatrii ke sledování změn osobností uživatelů při duševních poruchách – schizofrenie, manické poruchy, apod.

5

PATENTOVÉ NÁROKY

10

1. Biotelemetrický systém pro podporu monitorování psychofyziologického stavu člověka v reálném čase, při kterém se snímají fyziologické veličiny, které se dále vyhodnocují, **vyznačující se tím**, že obsahuje alespoň jednu kompaktní bezdrátovou snímací jednotku (1) opatřenou alespoň jednou jednotkou (2) wifi access pointů a jednu řídicí/sběrnou jednotku (3), přičemž každá snímací jednotka (1) obsahuje EKG senzor (4), senzor (5) pro měření kožního odporu, senzor (6) pro měření tepové dechové křivky, senzor (7) tělesné teploty, senzor (8) teploty okolí, senzor (9) aktivity, senzor (10) pro měření a vyhodnocení HRV variability srdečního rytmu a dále signální LED (11) a událostní tlačítko (12).

20

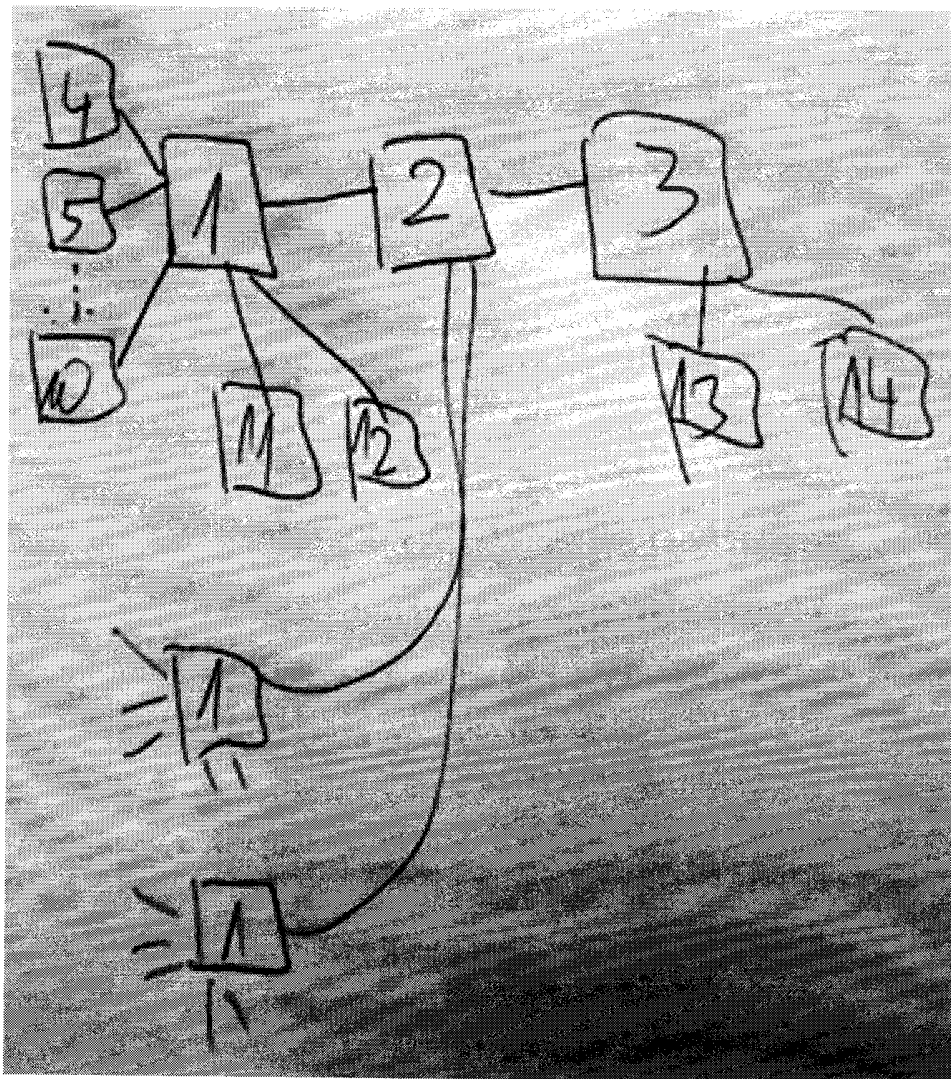
2. Biotelemetrický systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že řídicí/sběrná jednotka (3) je opatřena programovatelným zařízením (13) pro zpracování vstupních údajů a, v případě změny těchto údajů oproti dlouhodobému stavu, vstupem do modulu (14) připojeným na přijímače rodiny uživatele a/nebo psychoterapeuta a/nebo psychiatra pro informování o změně psychického stavu uživatele s cílem předejít nežádoucím změnám stavu uživatele.

25

3. Multifunkční biotelemetrický systém podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že řídicí/sběrná jednotka (3) je stolní PC, notebook nebo tablet.

30

1 výkres



Obr. 1

4.3 Zdravotnický prostředek Homebalance MA

Při vývoji finální verze systému pro domácí terapii poruch rovnováhy Homebalance MA jsme vycházeli z výše popsaných zkušeností. Systém bylo nutné navrhnout tak, aby obsahoval jednoduše pochopitelné herní scény s nastavitelnou obtížností, velmi jednoduché uživatelské rozhraní, aby byl přenosný a cenově dostupný.

V první fázi vývoje jsme vytvořili ve spolupráci s odborníky ze zdravotnických a technických profesí koncept softwarového řešení včetně konkrétního provedení uživatelského rozhraní a tréninkových scén.




V dalších fázích vývoje jsem spolupracovala s programátorem na realizaci konceptu, testovala pracovní verze softwaru a navrhovala potřebné úpravy. Na základě zpětné vazby z testování systému, které jsme prováděli nejprve ve spolupráci se zdravými probandy a poté s pacienty po poškození mozku, jsme vytvořili návrh finální verze systému Homebalance MA (Obr. 27).



Obrázek 27 Homebalance MA

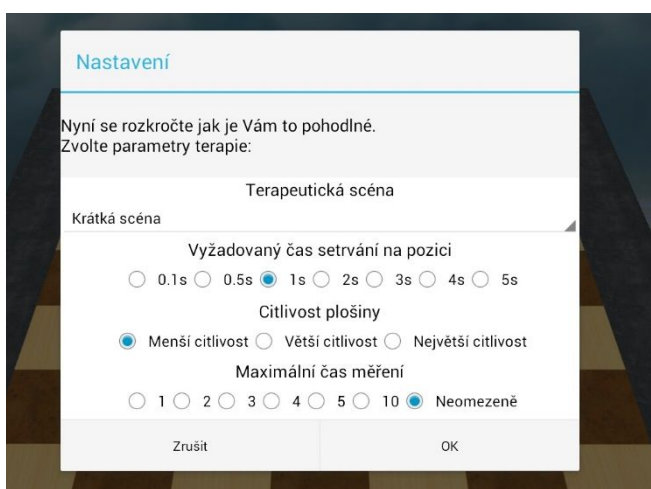
Pro zdravotnickou certifikaci jsem zpracovala klinické hodnocení a dokumentaci ke sledování zdravotnického prostředku po uvedení na trh, které dle potřeby aktualizuji v souladu s Nařízením Evropského Parlamentu a Rady 2017/745 o zdravotnických prostředcích. Homebalance MA má vydané prohlášení o shodě jako zdravotnický prostředek I. třídy bez měřicí funkce.

ES Prohlášení o shodě číslo: ZP201702

Výrobce:  Cleverttech s.r.o	Sídlo: Studničkova 7, 12800 Praha 2 IČO: 272 243 25 DIČ: CZ 272 243 25
Výrobek: Typ/model:	Název: HomeBalance MA Typ: není
Výrobce zajišťuje a prohlašuje na svou výlučnou zodpovědnost, že uvedený zdravotnický prostředek splňuje níže uvedená ustanovení a normy.	
NV 54/2015 Sb., příloha 7,	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/47/ES
Je ve shodě s následujícími normami:	
EN ISO 13485 ČSN EN ISO 14971:2012 ČSN EN 62366:2008 ČSN EN 60601-1-6 ed. 3: ČSN EN 60601-1 ed.2:2007 + A1, A11, A12 ČSN EN 60601-1-2 ed. 3 :2016 ČSN EN ISO 15223-1 :2012 ČSN EN 62353 :2008	
Třída zdravotnického prostředku: I podle pravidla 1 a 12.	
Jednatelé společnosti Cleverttech s.r.o. tímto deklarují, že výše uvedený zdravotnický prostředek splňuje požadavky podle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/47/ES pro zdravotnické prostředky. Všechny potřebné dokumenty jsou uchovány u výrobce.	
Vystavil: Ing. Jan Kašpar	 Ing. Pavel Smrčka
Jednatel organizace	 CleverTech s.r.o. IČO: 27224325 DIČ: CZ27224325 Reg. u MS v Praze, oddíl C, vložka 10574j www.cleverttech.cz
Dne 16.11.2017	

4.3.1 Nastavení terapie v domácím prostředí

Nastavení míry odezvy terapeutických scén na změnu signálu z plošiny probíhá přes jednoduché uživatelské rozhraní v aplikaci Homebalance MA. Tento parametr je pro uživatele nazván citlivost plošiny. Je možné vybrat ze tří stupňů citlivosti plošiny (Obr. 28). Parametry jednotlivých stupňů citlivosti jsem nastavila na základě testování herních scén tak, aby byly optimální pro pacienty s hmotností 40-150 kg. Jako základní přednastavenou variantu jsem zvolila střední úroveň citlivosti, která je vhodná pro pacienty ve váhové kategorii 50–90 kg, schopné samostatného stoje bez opory. Tito pacienti jsou nejčastějšími koncovými uživateli systému.



Obrázek 28 Uživatelské rozhraní pro nastavení domácí terapie

Signál ze senzorů v plošině je zpracován a využit v reálném čase pro ovládání terapeutické scény a poskytnutí audiovizuální zpětné vazby pacientovi. Zároveň jsou data archivována pro další analýzu. V databázi jsou ukládána surová data, tj. signály všech tenzometrických snímačů v plošině s časovou značkou (Obr 29). V každém datovém souboru je uveden název měření, zatížení tenzometrů v pořadí levý přední – pravý přední – levý zadní – pravý zadní a ke každému vzorku je přiřazena časová značka odvozená od UTC času, který je uveden v záhlaví a u prvního vzorku. Soubor z jednoho samostatného měření má velikost řádově desítky kilobytů.

```
|kmeasurement pid="spsz" at="946758005809">Top left;Top Right;Bottom  
left; Bottom right;Time(deltaTime)<OTEVRENE_OCI>  
14,21596;14,97644;18,4417;17,23827;946757955801  
14,24655;15,04834;18,37161;17,21755;17  
14,26695;15,18187;18,25147;17,13467;32  
14,28734;15,30514;18,21143;17,04144;49  
14,29754;15,34622;18,16137;16,94814;66  
14,32813;15,46949;17,98115;16,98963;71  
14,32813;15,46949;17,98115;16,98963;89  
14,29754;15,64411;17,96113;16,97926;91  
14,36893;15,7571;17,851;16,89628;120
```

Obrázek 29 Ukázka naměřených dat z WBB

Data jsou vizualizována formou statokineziogramu v archivu výsledků. Dále je možný export surových dat pro další analýzu v externím programu (např. MS Excel).

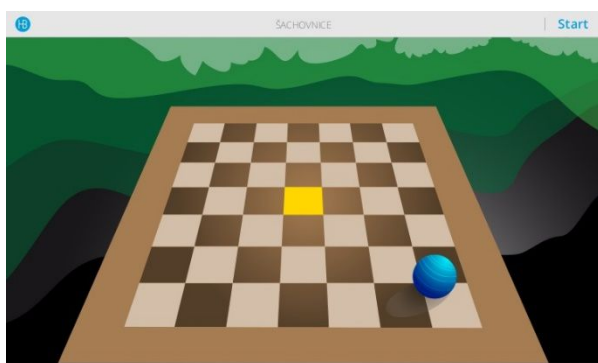
Pro domácí trénink rovnováhy lze zamknout software pro jednoho uživatele zvolením domácího režimu (Obr. 30). Uživatel v uzamčeném režimu nemá přístup k profilům ostatních uživatelů. Je možné pouze přepnutí do anonymního režimu pro případ, že bude cvičit jiná osoba než uživatel, kterému byl systém zapůjčen pro pravidelný trénink.



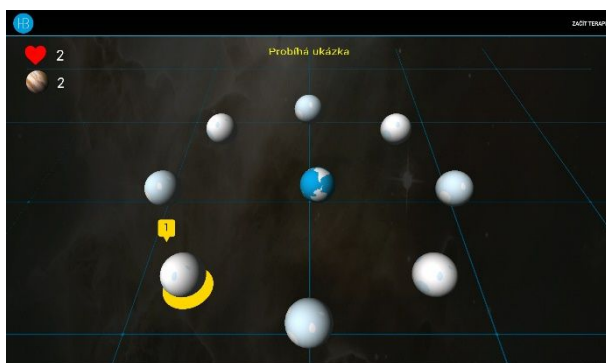
Obrázek 30 Rozhraní pro zamčení do domácího režimu

4.3.2 Terapeutické herní scény Homebalance MA

Software Homebalance obsahuje dvě jednoduché interaktivní scény, které jsou vhodné pro využití v domácí terapii poruch rovnováhy. Pro finální verzi softwaru jsme změnili oproti testovací verzi grafické zpracování scény Šachovnice (Obr. 31) a Vesmír (Obr. 32), aby byly všechny podstatné prvky dostatečně viditelné.



Obrázek 31 Scéna Šachovnice



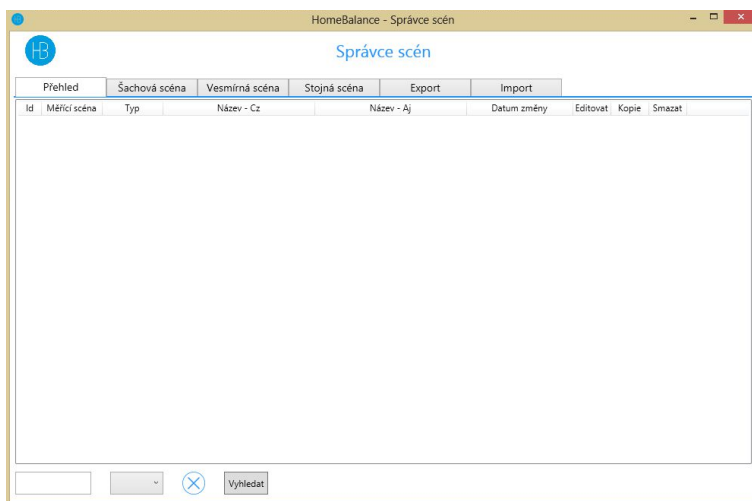
Obrázek 32 Scéna Vesmír

4.3.3 Editor pro úpravu scén

Pro funkční terapeutické řešení bylo nutné umožnit terapeutům úpravy zadání scén. V klinické praxi je vhodné, aby fyzioterapeut měl možnost vytvořit nové terapeutické nastavení scény na míru individuálnímu pacientovi a jeho aktuálnímu stavu.

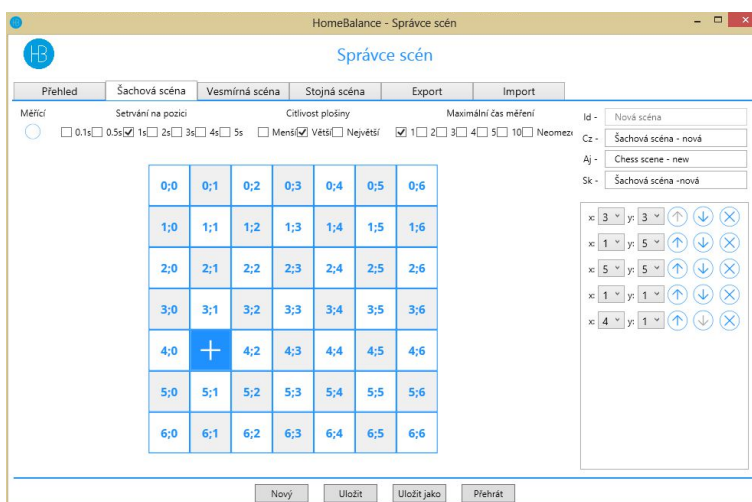
K tomuto účelu byl vytvořen software „Editor Homebalance“, který je určen výlučně pro použití terapeutem.

V první zobrazené záložce je přehled všech importovaných nebo vytvořených předdefinovaných scén s jejich charakteristikami, které lze upravovat (Obr. 33).



Obrázek 33 Správce scén

V záložce „Šachová scéna“ lze nastavit místa zobrazení jednotlivých pozic, které se budou zobrazovat v přednastavených zadáních ve scéně Šachovnice (Obr. 34).

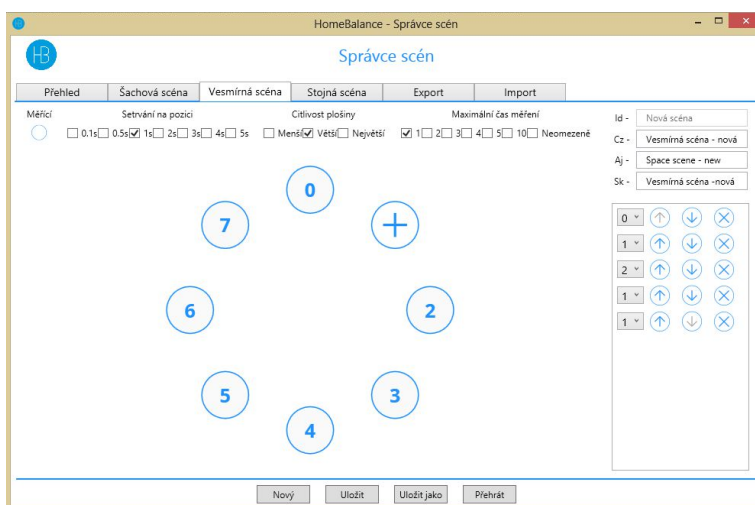


Obrázek 34 Editor scény Šachovnice

Pokud je zvolena možnost „Měřicí“, přednastavená scéna se objeví také v pevném zadání při měření. V tom případě zůstanou předvoleny při spuštění scény také další možnosti: setrvání na jednotlivých pozicích, než se zobrazí další předvolené pole v délce 0,1 až 5 vteřin, citlivost plošiny (parametr, který udává míru odezvy na změnu polohy průmětu těžiště) a maximální čas měření, který umožňuje omezit maximální délku trvání průběhu tréninkové scény.

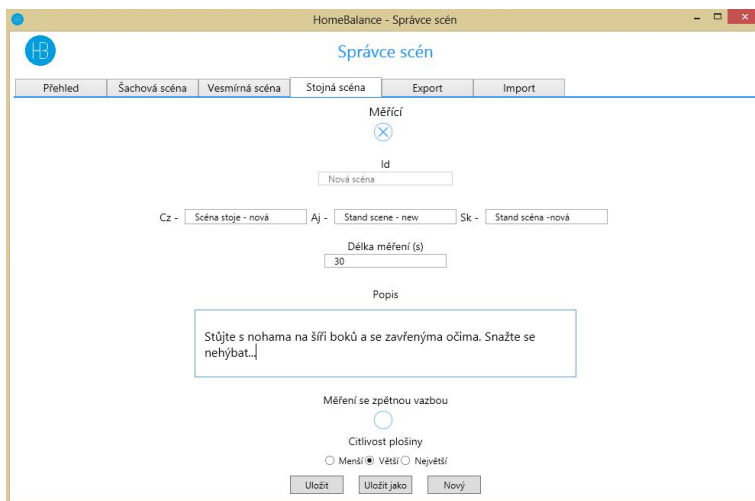
Ukázku průběhu zobrazení pozic je možné pro kontrolu nechat přehrát. Pořadí pozic je možné průběžně měnit. Scénu je poté možné uložit.

V záložce s názvem Vesmírná scéna je umožněna předvolba nastavení jednotlivých pozic v tréninkové scéně, ve které jsou uspořádány jednotlivé pozice do kruhu (Obr. 35). Je možné předvolit stejné parametry, jako ve scéně Šachovnice.



Obrázek 35 Editor scény Vesmír

Záložka „Stojná scéna“ je určena pro nastavení parametrů měření stoje (Obr. 36). Tato scéna je vždy přednastavena jako měřicí. V předvolbách lze nastavit individuální délku měření a variantu měření bez, nebo s vizuální zpětnou vazbou. Ke každému měření je možné vepsat text, který si pacient přečte před začátkem měření.



Obrázek 36 Editor pro nastavení měření stoje

V záložce export je možné tréninkové scény vybrat a exportovat. Po exportu je možné tyto scény použít v terapeutickém softwaru Homebalance MA. V záložce Import lze importovat zadání, která byla vytvořena dříve a jsou k dispozici na disku

počítače/tabletu. Tato zadání je poté možné dále upravovat pro využití u konkrétního spektra pacientů.

Ochrana duševního vlastnictví

Pro výsledek výzkumu jsme realizovali ochranu duševního vlastnictví formou užitého vzoru č. 33788 Zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zejména pro použití v domácím prostředí.

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

33 788

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G16H 15/00 (2018.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2019-37093**
(22) Přihlášeno: **30.12.2019**
(47) Zapsáno: **25.02.2020**

- (73) Majitel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ
- (72) Původce:
Ing. Martin Vítězník, Praha 5, Stodůlky, CZ
MUDr. Markéta Janatová, Praha 10, Vršovice, CZ
Ing. Karel Hána, Ph.D., Praha 10, Vršovice, CZ
doc. MUDr. Jaroslav Jeřábek, CSc., Praha 4,
Míchle, CZ
Ing. Jaroslav Dušek, Ph.D., Poděbrady, Poděbrady
II, CZ
Ing. Tomáš Veselý, Vysoký Újezd, CZ
Ing. Lukáš Kučera, Mšené-lázně, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Václav Kratochvíl, Husnikova 2086/22, 158 00
Praha 5, Stodůlky

- (54) Název užitného vzoru:
**Zařízení pro sledování, vyhodnocování a
podporu procesu rehabilitace, zejména pro
použití v domácím prostředí**

Zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zejména pro použití v domácím prostředí

5 Oblast techniky

Technické řešení se týká zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zvláště pro použití v domácím prostředí.

10

Dosavadní stav techniky

V současné době existují technické prostředky pro podporu a hodnocení rehabilitačního procesu, jež jsou zpravidla konstruovány jako pevné vybavení rehabilitační ordinace. Tyto technické prostředky jsou využívány pacienty trpícími postžením pohybového ústrojí, v mnoha případech se jedná o osoby postižené cévní mozkovou příhodou (CMP). Smyslem rehabilitace je zapojení alternativních nervových drah a následná kompenzace poruchy.

Rehabilitační procedury, tj. cvičení, bývají předepisovány s opakováním i několikrát týdně a konkrétní procedura trvá zpravidla řádově desítky minut.

Nevýhodou stávajícího stavu je především nepřenositelnost systému, která vyplývá právě z jeho fixní instalace v rehabilitační ordinaci. Tento současný způsob provedení technických podpůrných prostředků je zvláště nevhodný v případě, kdy je mobilita pacienta do jisté míry omezena.

Další nevýhodou je nutnost pacienta přesunovat se na místo, kde je instalován výše zmíněný systém. Takovýto přesun může vést ke zvýšené únavě či vyčerpání pacienta, následkem je nižší účinnost rehabilitačního procesu. V neposlední řadě zvýšení nároků na čas, zejména při cestování, snižuje efektivitu celého procesu.

Podstatným nedostatkem stávajících řešení je nízká frekvence rehabilitačních cvičení a nízká motivace pacienta v období mezi návštěvami specializovaného pracoviště.

Jako příklad výše popsaného systému lze uvést například Synapsys Dynamic SPS System, kdy jen pro umístění tohoto systému je nutná podlahová plocha alespoň 1,3 x 1 m a hmotnost systému činí cca 22 kg. K výše uvedenému přístroji je nutno dále připojit osobní počítač typu PC s dedikovanou grafickou kartou, operačním systémem Windows a obrazový dataprojektor s promítacím plátnem.

40

Dalším příkladem pevně instalovaného systému je NeuroCom SMART Balance Master. Jedná se o zařízení zahrnující motorově naklápěnou balanční plošinu, ilustraci okolního prostředí a displej. Systém je řízen pomocí software spuštěného na počítači typu PC. Jedná se o rozměrné zařízení, s půdorysem přibližně 1,4 x 1,6 m a výškou přibližně 2,4 m, o hmotnosti 352 kg.

45

Mezi zařízení vhodná pro objektivní hodnocení rehabilitačního procesu se může řadit například systém MediTutor, obsahující moduly pro rehabilitaci hlavy, trupu, horní a dolní končetiny. Jedná se o přenosný systém umožňující vzdálený dohled nad rehabilitačním procesem v případě, kdy je systém využit pro domácí doléčení a rehabilitaci.

50

Žádný ze současně dostupných systémů však neumožňuje sledovat a hodnotit pacienta při provádění běžných denních činností a veškeré funkcionality jsou dostupné pouze při izolovaném použití systému.

Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky a nevýhody mohou být do značné míry minimalizovány využitím popisovaného zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zejména pro použití v domácím prostředí podle tohoto technického řešení. Jeho podstatou je to, že obsahuje subsystém určený pro telemonitoring rehabilitačního procesu a patientský subsystém pro podporu rehabilitace pacienta v domácím prostředí, přičemž oba subsystémy jsou opatřeny prostředky telekomunikace pro přenos získaných dat a patientský subsystém pro podporu rehabilitace pacienta je opatřen prostředkem pro sledování, zaznamenávání a přenos míry aktivity pacienta při běžných denních činnostech.

Jednotlivé části patientského subsystému pro podporu rehabilitace pacienta jsou s výhodou propojeny bezdrátovým komunikačním rozhraním a patientský subsystém pro podporu rehabilitace pacienta je ve výhodném provedení opatřen automatickou klasifikací druhu vykonávané aktivity.

Subsystém pro telemonitoring rehabilitačního procesu je s výhodou opatřen zařízením pro zaznamenání a zobrazení telemetricky získaných dat z patientského subsystému pro podporu rehabilitace pacienta telemonitoringem rehabilitačního procesu a ve výhodném provedení obsahuje funkci automatizovaného vyhodnocování pravidelnosti provádění rehabilitační terapie v domácím prostředí a/nebo funkcionalitu pro podporu pravidelného provádění této terapie.

Patientský subsystém ve výhodném provedení obsahuje stabilometrickou plošinu a monitor denní aktivity. Monitor denní aktivity může být v podobě náramku monitorujícího pohybovou aktivitu v průběhu dne, přičemž je opatřen tříosým akcelerometrem.

Podstata systému tedy spočívá v tom, že obsahuje alespoň dále popsané dva subsystémy vykonávající příslušné funkce.

30 Patientský subsystém.

Minimálně jeden subsystém poskytuje funkcionality podporující aktivizaci a evaluaci aktivit pacienta, přičemž subsystém se vyznačuje tím, že umožňuje poskytnout i funkce pro terapii poruch rovnováhy, dále se vyznačuje tím, že zahrnuje ovládání na principu vizuální zpětné vazby. S výhodou je tento subsystém navržen a konstruován tak, aby byla zajištěna snadná transportovatelnost. Tento subsystém je typicky využíván pacientem; s výhodou v prostředí dle jeho volby, například při tzv. rehabilitaci v domácím prostředí je tento subsystém umístěn v domácím prostředí pacienta.

40 Patientský subsystém může dále obsahovat další modularity, sloužící například pro podporu terapie a pro zpřesnění metod použitých pro posouzení průběhu rehabilitace. Typicky lze využít nositelná zařízení určená pro monitoring aktivity a druhu činnosti. S výhodou může být toto zařízení konstruováno ve formě náramku. Získaná data jsou v tomto případě zpravidla zaznamenávána semiperiodicky na zabudované a/nebo výměnné záznamové médium a do dalších částí systému přenášena typicky bezdrátovým rozhraním, pomocí fyzického propojení, a/nebo jakýmkoliv jiným způsobem umožňujícím výměnu dat, jako je například využití výměnného paměťového media.

50 Patientský subsystém jako celek je konstruován takovým způsobem, aby jej bylo možno ve snadné formě transportovat, a aby pro instalaci tohoto systému v domácím prostředí pacienta nebyly nutné žádné významné stavební či jiné úpravy.

Subsystém pro podporu terapie.

Dále systém obsahuje alespoň jeden subsystém sloužící pro přímou podporu a evaluaci průběhu terapie sloužící k rehabilitaci pacienta. Zpravidla se jedná o systém využívající osobního, nebo
5 jakéhokoli jiného počítače, jako je např. server, laptop, smartphone, tablet nebo výpočetní modul, schopného umožnit běh příslušného programu a/nebo sady programů.

Subsystém pro podporu terapie typicky obsahuje modularitu nezbytné pro retrospektivní komparativní hodnocení absolvovaných terapeutických jednotek, dále typicky disponuje
10 funkcemi pro poloautomatické nebo zcela automatické vyhodnocení průběhu terapie, jako je například zobrazení statokineziogramu a/nebo zobrazení porovnání vzhledem k normám zdravé populace.

Další funkcionalitou subsystému pro podporu terapie je možnost zpětné komunikace s pacientem,
15 a to synchronní, tj. v průběhu terapeutické jednotky, nebo asynchronní, tj. nezávisle na průběhu terapeutické jednotky. S výhodou je tato komunikace vedena ve formě videohovoru.

Podstatnou funkcionalitou tohoto subsystému je implementace automatických hodnoticích
20 algoritmů založených s výhodou na metodách strojového učení, umělých neuronových sítí nebo jiných metodách automatické klasifikace dat. Toto umožňuje automatické přizpůsobení náročnosti terapie, zejména pomocí individualizace, v závislosti na průběžných výsledcích pacienta. Další podstatnou výhodou je možnost automatizovaného odesílání informací o zhoršení průběžného výkonu a/nebo vynechání domácí terapeutické jednotky. Podstatnou výhodou je
25 také funkcionalita automatizované podpory vytvoření závěrečné zprávy z terapie.

Objasnění výkresů

Zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zejména pro použití
30 v domácím prostředí bude podrobněji popsáno na konkrétním příkladu provedení s pomocí přiloženého výkresu, kde na Obr. 1 je uvedeno schematické znázornění struktury a hlavních částí popsaného systému pro telerehabilitaci.

Příklad uskutečnění technického řešení

Jak je z přiloženého schématu struktury systému na Obr. 1 patrné, sestává realizovaný systém ze
40 subsystému 1 pro podporu terapie, v konkrétním případě realizován počítačem typu Lenovo M820z All-in-One vybaveným komunikačním datovým rozhraním pro dálkový přenos dat, s výhodou typu Ethernet, dále softwarem pro zpracování a vyhodnocování dat a telekomunikaci a zobrazovacím rozhraním, tj. displejem. Osobní počítač typu PC/All in one může být nahrazen tabletem, laptopem, smartphone či podobným zařízením, které poskytuje ekvivalentní funkcionalitu.

Další součástí systému je patientský subsystém 2, v konkrétním případě realizován za využití
45 tabletu Lenovo IdeaTab Miix300, který pomocí datového telekomunikačního rozhraní komunikuje se subsystémem 1 pro podporu terapie.

Realizovaný patientský subsystém 2 umožňuje poskytovat vizuální a akustickou biologickou
50 zpětnou vazbu pacientovi, v konkrétním případě je vizuální biologická zpětná vazba výhodně realizována s využitím vestavěného displeje a akustická biologická zpětná vazba za využití vestavěného reproduktoru. Patientský subsystém 2 je možno rozšířit o jakýkoliv další prostředek pro biologickou zpětnou vazbu za využití vestavěného rozhraní, s výhodou typu USB, Bluetooth nebo WiFi. Patientský subsystém 2 nemusí nutně integrovat ani využívat výše uvedené
55 prostředky pro biologickou zpětnou vazbu.

- Pacientský subsystém 2 dále komunikuje s technickými prostředky pro monitoring rehabilitace. V konkrétním příkladu technického řešení se jedná o stabilometrickou plošinu 4 typu „Nintendo Wii Balance Board“, jež umožňuje monitorovat, zaznamenávat a vyhodnocovat průběh takového druhu terapie, kdy úkolem pacienta je přenášet váhu při stožení na podložce. Dalším prvkem pacientského subsystému 2 je monitor 5 denní aktivity, v realizovaném příkladu technického řešení ve formě náramku monitorujícího pohybovou aktivitu v průběhu dne za využití tříosého akcelerometru, s výhodou typu Xiaomi Mi Band 3.
- 10 Technické prostředky pro podporu rehabilitace přenášejí získaná data za využití drátového nebo bezdrátového datového komunikačního rozhraní, v konkrétním realizovaném příkladu se jedná o bezdrátové datové komunikační rozhraní využívající pásmo frekvencí 2,4 GHz a standard přenosu IEEE 802.15.1. Systém však umožňuje využít i jiné komunikační standardy, případně přenos dat za využití paměťového media.

15

Průmyslová využitelnost

- 20 Systém pro telerehabilitaci je využitelný v lékařství, především při rehabilitaci pacientů. Smyslem systému je zvýšení efektivity terapie, a to především takovým způsobem, kdy je zvýšena motivace pacienta, dále způsobem, kdy je pacientovi umožněno provádět rehabilitační cviky i v domácím prostředí, a to především takovým způsobem, kdy je způsob provádění výše uvedených cviků sledován a vyhodnocován vzdáleně, podporován vhodnými technickými prostředky.

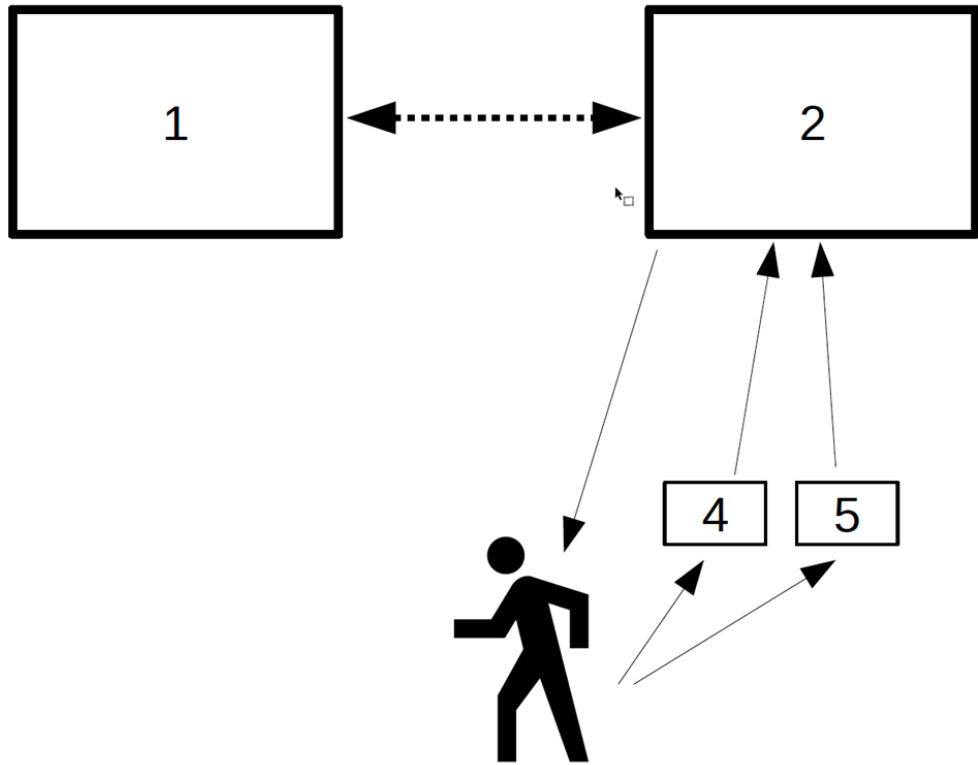
25

NÁROKY NA OCHRANU

- 30 1. Zařízení pro sledování, vyhodnocování a podporu procesu rehabilitace, zejména pro použití v domácím prostředí, **vyznačující se tím**, že obsahuje subsystém (1) určený pro telemonitoring rehabilitačního procesu a pacientský subsystém (2) pro podporu rehabilitace pacienta v domácím prostředí, přičemž oba subsystémy (1, 2) jsou opatřeny prostředky telekomunikace pro přenos získaných dat a pacientský subsystém (2) pro podporu rehabilitace pacienta je opatřen
- 35 prostředkem pro sledování, zaznamenávání a přenos míry aktivity pacienta při běžných denních činnostech.
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že jednotlivé části pacientského subsystému (2) pro podporu rehabilitace pacienta jsou propojeny bezdrátovým komunikačním rozhraním.
- 40 3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že pacientský subsystém (2) pro podporu rehabilitace pacienta je opatřen automatickou klasifikací druhu vykonávané aktivity.
4. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že
- 45 subsystém (1) pro telemonitoring rehabilitačního procesu je opatřen zařízením pro zaznamenání a zobrazení telemetricky získaných dat z pacientského subsystému (2) pro podporu rehabilitace pacienta telemonitoringem rehabilitačního procesu.
5. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že
- 50 obsahuje funkci automatizovaného vyhodnocování pravidelnosti provádění rehabilitační terapie v domácím prostředí a/nebo funkcionalitu pro podporu pravidelného provádění této terapie.
6. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že
- 55 pacientský subsystém (2) obsahuje stabilometrickou plošinu (4) a monitor (5) denní aktivity.

7. Zařízení podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že monitor (5) denní aktivity je v podobě náramku monitorujícího pohybovou aktivitu v průběhu dne, přičemž je opatřen tříosým akcelerometrem.

1 výkres



Obr. 1

4.3.4 Referenční meze monitoringu u zdravé populace

Pro finální verzi Homebalance MA jsem provedla testování u zdravé populace za účelem zjištění referenčních mezí pro první a bezprostředně opakované měření stoje s otevřenýma očima, stoje se zavřenýma očima a referenční scény Šachovnice.

Pro experiment jsem oslovila zdravé probandy ve věkové kategorii 18–25 let. U probandů nebyly přítomny subjektivní nebo objektivní poruchy rovnováhy, ortopedická onemocnění ani neurologické poruchy. Celkový počet zdravých probandů byl 90 (47 mužů a 43 žen), což je v relacích běžného postupu zjištění referenčních mezí nízký počet probandů, avšak pro cíl vývoje terapeutického zdravotnického prostředku třídy I bez měřicí funkce se nám jeví jako dostatečný.

Pro ověření využitelnosti systému pro monitoring při samostatné domácí terapii jsem nasimulovala tuto situaci tak, že probandi prováděli měření po zaškolení a pod dohledem, ale samostatně bez asistence druhé osoby.

Pro jednoduchý screening jsem vybrala u referenční scény Šachovnice jako hodnocený parametr čas, za který je pacient schopen dokončit vždy stejné zadání. U stoje s otevřenýma a se zavřenýma očima jsem zvolila parametr SP, který je pro terapeuty i pacienty dobře pochopitelný a nedochází k jeho zkreslení v případě, že si pacient stoupne nesymetricky od středové čáry plošiny.

Pro tvorbu referenčních mezí samostatného měření u zdravé populace jsem ověřila, že hodnoty mají normální rozdělení a následně stanovila referenční meze pro 95% predikční interval. V tabulce uvádím hodnoty pro první a pro opakované měření, při kterém již probandi měli bezprostřední zkušenost se samostatným použitím systému Homebalance MA (Tab. 7).

Tabulka 7 Referenční meze při opakovaném měření

Typ scény a hodnocený parametr	1. měření	2. měření
Referenční scéna, čas plnění [s]	41-72	40-66
Stoj otevřené oči, 30 s, SP [mm]	295-795	245-757
Stoj zavřené oči, 30 s, SP [mm]	298-869	259-852

Dále jsem ověřila, zda při druhém bezprostředně navazujícím měření dochází ke statisticky významnému zlepšení v hodnocených parametrech. Podle výsledků Shapiro-Wilk testu mají hodnoty všech měření normální rozdělení. Pro statistickou analýzu dat jsem využila párový t-test. V čase plnění referenční scény Šachovnice

došlo podle předpokladu ke statisticky významnému zlepšení ($p < 0,001$), přičemž průměrné zlepšení bylo o 3 s ($SD = 6,8$ s).

V parametru SP při stoji s otevřenými očima došlo ke statisticky významnému zlepšení ($p = 0,001$), přičemž průměrné zkrácení parametru SP bylo o 44 mm ($SD = 123,9$ mm). Při stoji se zavřenými očima došlo ke statisticky významnému zkrácení parametru SP ($p = 0,02$), přičemž průměrné zkrácení parametru SP bylo o 33 mm ($SD = 142$ mm).

Zjištěné referenční meze jsou uvedeny v technické složce zdravotnického prostředku Homebalance MA.

4.3.5 Testování Homebalance MA při skupinové terapii

Pro ověření bezpečnosti, funkce a účinnosti zdravotnického prostředku Homebalance MA bylo potřeba otestovat systém při nasazení v reálné praxi u většího vzorku pacientů. V průběhu testování ve spolupracujících zdravotnických zařízeních vyvstala ze strany terapeutů a lékařů opakovaně otázka, zda je Homebalance bezpečným a účinným zdravotnickým prostředkem i pro jiné pacienty, než jsou geriatričtí pacienti a pacienti po poškození mozku, pro které byl od začátku systém vyvíjen. Ve spolupráci s Rehabilitačním ústavem Kladruby jsem vytvořila metodiku pro hodnocení skupinové terapie poruch rovnováhy s Homebalance MA u pacientů s vertebrogenním algickým syndromem (VAS) v subakutní a chronické fázi, kteří neměli kontraindikace k této terapii. Tuto diagnózu jsme zvolili z důvodu existence velkého počtu pacientů, kteří byli schopni docházet na skupinové terapie a ovládat systém Homebalance MA samostatně.

Do studie bylo zařazeno 447 pacientů (176 mužů, průměrný věk 52,6 let, $\pm 11,9$ a 271 žen, průměrný věk 54,7 let $\pm 11,6$). Cílem studie bylo zjistit, zda je Homebalance MA využitelný ve skupinové terapii těchto pacientů a zda je patrný efekt po jednorázové patnáctiminutové terapii. Pacienti cvičili ve skupině bez asistence terapeuta (Obr. 37).



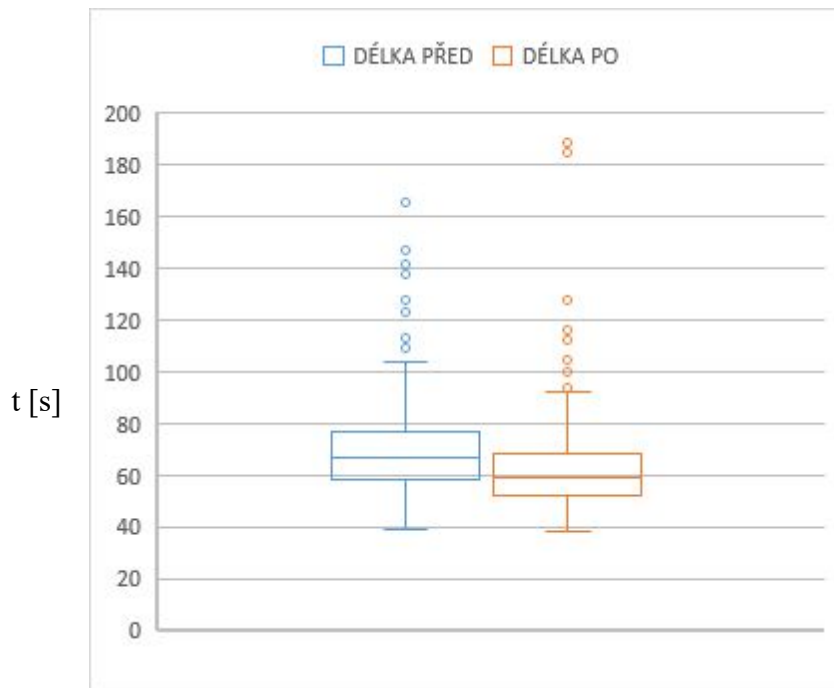
Obrázek 37 Skupinová terapie pacientů s bolestmi zad

U pacientů proběhl monitoring stoje a referenční dynamické scény před a po patnáctiminutovém tréninku rovnováhy s využitím terapeutické scény Šachovnice. Terapie byla všemi pacienty dobře snášena a neobjevily se žádné nežádoucí účinky.

Provedla jsem statistickou analýzu dat zaměřenou na hodnocení změny v parametru SP u stoje s otevřenými očima a u stoje se zavřenými očima a hodnocení změny času potřebného ke splnění referenční scény Šachovnice. Podle výsledků Shapiro-Wilk testu neměly naměřené hodnoty normální rozdělení. Pro statistickou analýzu dat jsem použila Wilcoxonův test.

Parametr SP při měření stoje s otevřenými očima se zvětšil o 3,4 %, parametr SP při měření stoje se zavřenými očima se zvýšil o 2,7 %. Jedná se o malé, ale dle Wilcoxonova testu statisticky významné zhoršení výkonu cvičících. Za daných podmínek, kdy mezi prvním a druhým testováním probíhalo patnáctiminutové cvičení na plošině, může jít o důsledek únavy nebo snížení motivace k provádění monitoringu.

Čas potřebný ke splnění referenční scény Šachovnice se statisticky významně snížil. Průměrný čas potřebný k dokončení referenční scény byl o 7,8 vteřin ($SD = 13,5$) nižší po terapii než před terapií (Obr. 38).



Obrázek 38 Zkrácení času potřebného ke splnění referenční scény Šachovnice

Ověřili jsme hypotézu, že po tréninku rovnováhy na tenzometrické plošině s audiovizuální zpětnou vazbou dochází ke snížení času potřebného k adekvátní změně polohy průmětu těžiště.

Vlastní přínos a publikační výstup

Výsledky vybrané skupiny pacientů s vertebrogenním algickým syndromem bez přidružené neurologické nebo ortopedického diagnózy jsme publikovali ve speciálním čísle časopisu Electronics MDPI v článku „System for game-like therapy of balance issues using audiovisual feedback and force platform“ [47]. V autorském týmu jsem se podílela na stanovení designu studie, analýze dat a sepsání článku.

Article

System for Game-like Therapy in Balance Issues Using Audiovisual Feedback and Force Platform

Markéta Janatová ^{1,2,*}, Jakub Pětioký ^{2,3,4} , Kristýna Hoidekrová ^{2,3} , Tomáš Veselý ^{1,2} , Karel Hána ^{1,2}, Pavel Smrčka ^{1,2}, Lubomír Štěpánek ², Marcela Lippert-Grünerová ⁴ and Jaroslav Jeřábek ¹

¹ Faculty of Biomedical Engineering, Czech Technical University, Sportovcu 2311, 272 01 Kladno, Czech Republic; tomas.vesely@fbmi.cvut.cz (T.V.); hana@fbmi.cvut.cz (K.H.); smrcka@fbmi.cvut.cz (P.S.); jaroslav.jerabek@fbmi.cvut.cz (J.J.)

² First Faculty of Medicine, Charles University in Prague, 110 00 Prague, Czech Republic; jakub.petioky@rehabilitace.cz (J.P.); kristyna.hoidekrova@rehabilitace.cz (K.H.); lubomir.stepanek@lf1.cuni.cz (L.Š.)

³ Rehabilitation Center Kladruby, Kladruby 30, 258 01 Kladruby u Vlasimi, Czech Republic

⁴ Third Faculty of Medicine, Charles University in Prague, 110 00 Prague, Czech Republic; marcela.grunerova-lippertova@fnkv.cz

* Correspondence: janatma4@fbmi.cvut.cz; Tel.: +420-776-643-102

Abstract: Background: The aim of the work is to verify the usability of a stabilometric platform and audiovisual feedback in the group-based therapy of patients with vertebral algic syndrome, to analyze an immediate effect after a single therapeutic unit, and to analyze differences between male and female probands. Methods: The study included 189 patients (90 male, age 55 ± 12 and 89 female, age 52 ± 12). All patients received group balance therapy with a portable medical device, Homebalance MA. The intervention consisted of measurement of quiet stance and a reference training scene before and after 15 min of game-like balance training with audiovisual feedback. Results: A statistically significantly lower value of the body sway trajectory during quiet stance was detected in men than in women. After a single therapy session, there was a statistically significant improvement in quiet stance with visual feedback, and marginal statistically significant improvement in the time required to complete the reference training scene. Conclusions: Homebalance MA is a utilizable tool for group therapy. The use of group game-like balance training increases the availability of physiotherapeutic intervention for a larger number of patients, while maintaining the positive effect of the therapy.

Keywords: stabilometric platform; audiovisual feedback; vertebral algic syndrome



Citation: Janatová, M.; Pětioký, J.; Hoidekrová, K.; Veselý, T.; Hána, K.; Smrčka, P.; Štěpánek, L.; Lippert-Grünerová, M.; Jeřábek, J. System for Game-like Therapy in Balance Issues Using Audiovisual Feedback and Force Platform. *Electronics* **2022**, *11*, 1179. <https://doi.org/10.3390/electronics11081179>

Academic Editors: Radu Ciorap, Jiri Hozman, Jan Vrba and Jing Jin

Received: 27 February 2022

Accepted: 7 April 2022

Published: 8 April 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Three areas are important to ensure the physiological function of the spine: passive system (bone structure of spine, ligaments, tendons), active system (musculature), and motor control (peripheral and central nervous system). The interaction of these three systems allows the stability and the mobility of the spine and, hence, human movement against gravity.

Mechanisms of motor control, especially postural control, are currently being intensively investigated, particularly in the area of chronic back pain treatment. Changes in motor control, the reflex control of trunk muscles in patients with vertebral algic syndrome (VAS), in particular, have been documented in several studies [1,2]. Here, postural responses can be understood as complex activation patterns of the muscles of the trunk and limbs.

Of particular interest, in this context, is the early activation of trunk muscles, for which the activation of the sensory receptors of leg muscles and the plantar surface is very important. For this reason, postural stabilization training within the concept of multimodal

pain therapy is one of the key therapeutic interventions in the rehabilitation of patients with vertebral algic syndrome (VAS).

An important neuroscience basis is in studies in which postural disorder in chronic back pain could be shown to be associated with plastic changes in the muscular representation of the trunk in the motor cortex [3,4]. Specific postural stability training could help to decrease these maladaptive neuroplastic changes, in addition to its peripheral effect on the passive and active spine system [5].

The high prevalence of VAS and the lack of effective primary care treatments lead to a decrease in the quality of life of patients, their families and community in a worldwide population [6]. Group-based multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation has been reported to be effective for the treatment of VAS [7]. Interventions utilizing gaming technologies report strong retention and adherence rates, reduced perception of effort and fatigue, and increased enjoyment of exercise-related activities [8]. Coordination and stabilization exercise programs have a beneficial effect in the treatment of chronic back pain [9]. Devices originally designed for gaming consoles, such as Kinect motion sensor or stabilometric platform Nintendo Wii Balance Board (WBB), can be used for this purpose. Several studies have shown WBB is a valid tool for the quantification of postural stability [10]. The use of WBB and gamification of the therapy have a positive effect on decreasing vertebral pain [11]. Motivation and audiovisual feedback improve motor learning by providing exact tasks and giving feedback in real time. Thus, the physiotherapist can provide high-quality individual therapy to a larger group of patients at the same time.

Posturography can be combined with other methods, such as electroencephalography, electromyography, and heart rate detection, and visual feedback can be provided in virtual reality [12]. After classifying the signals and the output is also provided, the target device interprets and processes the orders [13]. Humans are able to reach and catch target objects, despite different circumstances, even if the object's position changes [14]. The use of posturography combined with eye-tracking may be also a useful diagnostics method in patients suffering from abnormal eye movement (nystagmus) [15].

In a comparison of parameters of quiet stance in healthy adults aged 22–88 years, posturography showed highly significant positive correlations with age, both with subjects' eyes open and with their eyes closed, with correlation coefficients slightly higher in the former, indicating an age-associated increase in swaying [16]. Elderly women show more severe impairments of balance when simultaneously deprived of visual and somatosensory inputs or during a backward destabilization than men [17]. Several studies detected the positive effect of game-like training with audiovisual feedback using WBB in patients with chronic stroke at the improvement of performance in gait (dynamic balance), but not in the other physical measures [18]. The aim of the work is to verify the usability of audiovisual feedback and WBB in the group-based game-like therapy of patients with VAS, to evaluate the therapeutic effect of the intervention, and to evaluate the influence of patients' gender and age on their postural stability.

2. Materials and Methods

2.1. The Evaluated Technical Solution Homebalance MA

Homebalance MA is a medical device for the therapy of balance disorders. As the system is intended to be used also in group therapy and home-based therapy, it consists of low-cost, portable, and lightweight components. These components are a tablet with therapeutic software, an ergonomic tablet holder, and a stabilometric platform WBB. For patients with blurred vision the visual feedback can be presented on a bigger screen (Figure 1).

Therapeutic software consists of 2 types of game-like therapeutic scenes. The therapy is based on the principle of audiovisual feedback. Standing on the WBB, the patient is instructed to move an item in the therapeutic game by shifting their center of pressure.



Figure 1. Homebalance MA system.

The position of the center of pressure is calculated from the load changes in four individual tensometers at the corners of the platform. The on-board processing unit acquires data at a rate of 100 Hz and sends the results in the form of datasets consisting of a load of tensometers and time stamps via Bluetooth to the tablet.

Feedback is controlled by two processes. The first process has the task of preprocessing data from the stabilometric platform WBB; the second process then activates the audiovisual feedback depending on the selected game. The data preprocessing is performed by a low-pass FIR filter implemented by a moving average with a moving window (20 samples):

$$MA_n = \frac{A_n + A_{n+1} + \dots + A_{n+19}}{20} \quad (1)$$

The preprocessing ensures smoother movement of the game elements by partial elimination of different unwanted artifacts in high-frequency regions.

Preprocessed data are used to control a second process that activates audiovisual feedback (activation depends on the game conditions, e.g., sufficient time spent on the game element), which is realized e.g., by color changes in the game element or by an audio signal. When the patient changes the position of the center of pressure in the correct direction, he/she receives information about the correctness of the movement using adequate sound and image in a game-like therapeutic scene. This feedback is given to the patient to increase motivation and effectiveness of motor learning.

The sensitivity of the response of game-like scenes to postural sway can be adjusted according to individual patient's needs (for example a more sensitive response for spastic patients with a low range of movement or a less sensitive response for people with ataxia). It is also possible to set a preferable direction of postural sway and the range of the movement in the therapeutic game. The difficulty of the exercise can be adjusted according to patients' actual condition (for example by prolongation of persistence in required positions or by an increase in required range of motion of the center of pressure). The software enables monitoring of patients' progress in the time required to complete dynamic reference training scene, and in stabilometric parameters of quiet stance. There is also a possibility of online

telemonitoring of patients' performance and adherence to their therapeutic plan during home-based therapy.

The size of a WBB is $53 \times 32 \times 5 \text{ cm}^3$ and its maximum load is 150 kg. The WBB contains similar componentry to a typical force platform, with four strain gauge-based load sensors, capable of obtaining data on movements in the center of pressure and communicating wirelessly to a computer via Bluetooth. The WBB can provide data that is concurrently valid with typical commercial laboratory-grade force platforms and has reliability characteristics similar to force platforms for static standing computerized posturography [19]. The WBB has been reported to sample each force channel at $\sim 100 \text{ Hz}$ and the force sensors have been reported to be linear with the center of pressure noise levels of approximately $\pm 0.5 \text{ mm}$ [20].

There is a production test in each WBB before it is used for the first time, which is repeated regularly once a year to ensure the validity of the data acquired from WBB. During the test, the platform sensors are loaded with two identical weights, weighing approximately 20 kg. The Homebalance application works with the calculated X and Y position of the center of gravity when the platform is loaded, so these values are examined, not the absolute value of the load in the given sensor. Different positions of the weights are used to test whether the changes in the center of pressure of the weights in the X-axis and the Y-axis correspond to the calculated position of the center of pressure determined by the platform. The value of the weight given by the platform has to be the same in all positions, the tolerance is up to 5%.

2.2. Patient Group Characteristics

The study included patients with a diagnosis of VAS in the subacute and chronic phases, who were hospitalized in the Rehabilitation center Kladruby (RUK). The patients' active cooperation and understanding of the instructions were fundamental conditions. They were included in the group after a 1-week stay in RUK at the earliest and after having received training by a primary therapist during normal individual physiotherapy sessions. As such, 189 patients (90 males, age 55 ± 12 and 89 females, age 52 ± 12) were included in the study. In this study, we included subjects with VAS, who were clinically stable with the ability to walk at least 20 m without or with a walking aid, able to maintain a standing position for at least 10 min, and able to perform the exercise.

The exclusion criteria included blurred vision, severe cognitive impairment or psychiatric disorders, pregnancy or epilepsy. The weight limit was 120 kg. All participants signed a written informed consent form before entering the study. This trial was approved by The Ethical Committee of RU Kladruby.

For the intervention and monitoring medical device Homebalance MA was used. In the initial phase, the physiotherapist teaches patients how to control training scenes by using the correct movement patterns. During the remaining time, the patients can exercise independently using the audiovisual feedback.

2.3. Measured Parameters and Statistical Methodology

The testing is performed in a position of uncorrected posture (with legs placed in the center of the platform at waist width)—spontaneous stance. The therapy is performed in a posturally controlled = corrected position (activity of inner balance system, proprioceptive neuromuscular facilitation, corrected pelvis position, corrected head position, centering of shoulder blades, controlled deepened breath). The assessment is based on the ability to maintain a corrected posturally controlled position in a quiet stance and on the performance in the reference game-like training scene.

We analyzed whether the system is usable in group-based therapy without any adverse effects. Statistical evaluation of the stability of quiet stance in 3 different conditions (eyes opened, eyes closed, visual feedback) and results of the dynamic reference game-like scene were performed before and after 15 min of game-like balance training to detect an immediate change in stabilometric parameters.

In quiet stance, a process of continuous corrections at the center of pressure of the body takes place to oppose the destabilizing effect of gravity. In patients with stability disorders, the deviation of the center of pressure from the central position is more significant. Evaluated parameters of postural stability in this study were the root mean square distance of the center of pressure from average position (RMS), the root mean square distance of the center of pressure from the average position in mediolateral axis (RMSML), the root mean square distance of the center of pressure from the average position in anteroposterior axis (RMSAP) and the body sway trajectory—the length of the trajectory of fluctuation of the center of pressure during the measurement of 30 s in quiet stance (SP).

Unpaired two-samples two-tailed Student's *t*-tests were performed to compare the means of results measured in male and female probands. The paired two-samples two-tailed Student's *t*-tests were performed to compare the means of results measured before and after the intervention.

All statistical analyses were performed using R statistical language and environment. As statistically significant, we consider those results with a significance level $p < 0.01$.

3. Results

The design of the therapy was accepted across the patient group without the occurrence of any undesirable side effects.

3.1. Comparison of Results in Male and Female Patients

The body sway trajectory in quiet stance with eyes opened was lower in male than in female patients, by 530.1 mm, $p < 0.001$ (Figure 2).

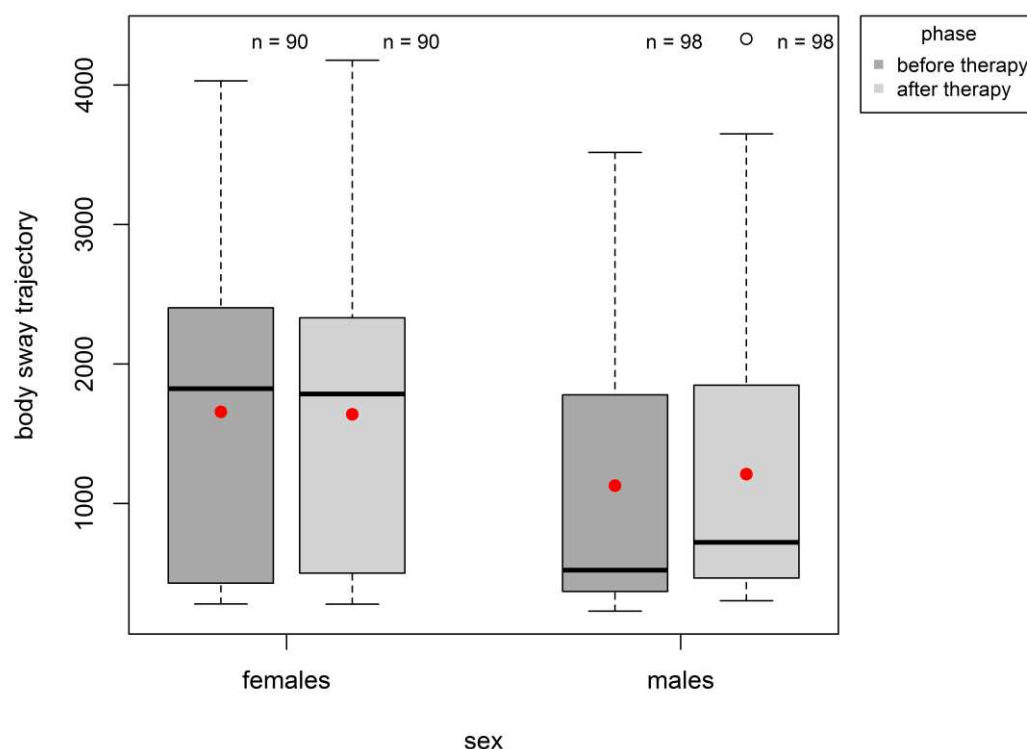


Figure 2. The body sway trajectory in quiet stance with eyes opened.

The body sway trajectory in quiet stance with eyes closed was lower in male than in female patients, by 429.3 mm, $p < 0.001$ (Figure 3).

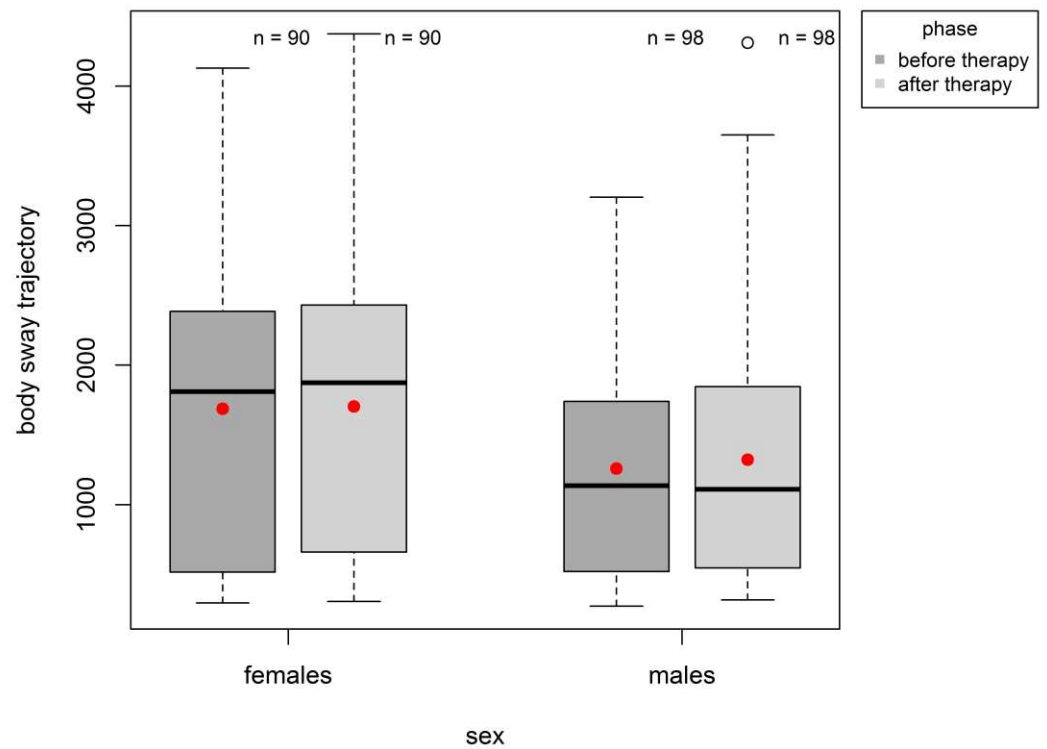


Figure 3. The body sway trajectory in quiet stance with eyes closed.

The body sway trajectory in quiet stance with visual feedback was lower in male than in female patients, by 510.7 mm, $p < 0.001$ (Figure 4).

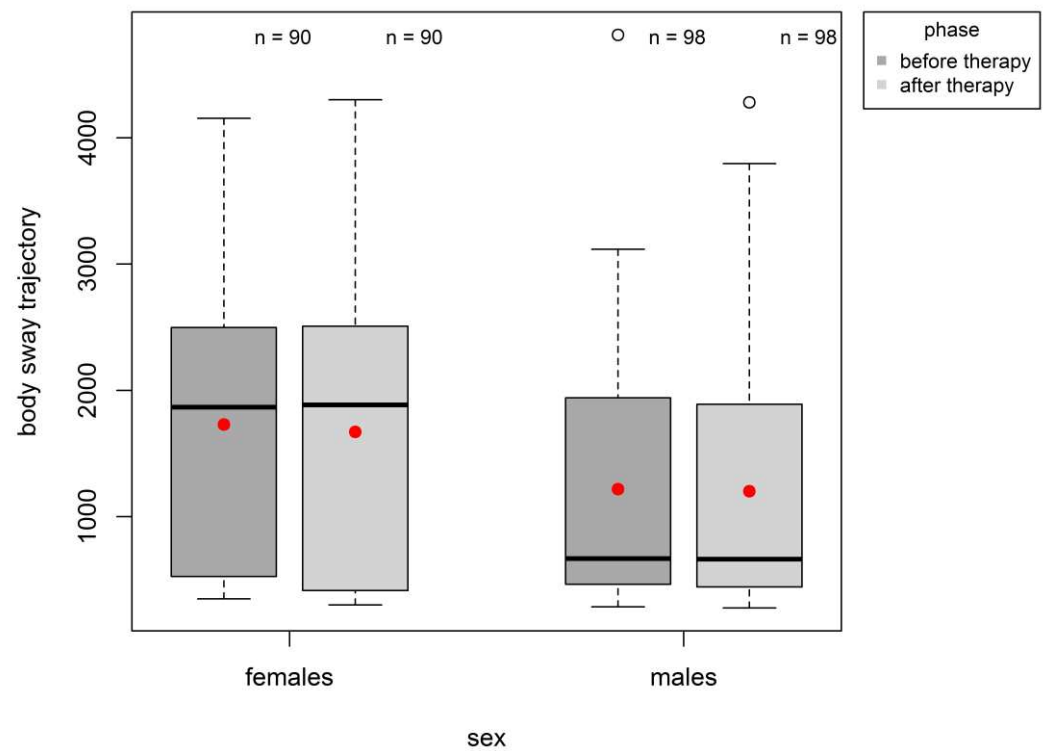


Figure 4. The body sway trajectory in quiet stance with visual feedback.

3.2. Comparison of Results before and after the Therapy

The root mean square distance in quiet stance with visual feedback was lower by 5.8 mm after the therapy than before the therapy, $p < 0.001$ (Figure 5).

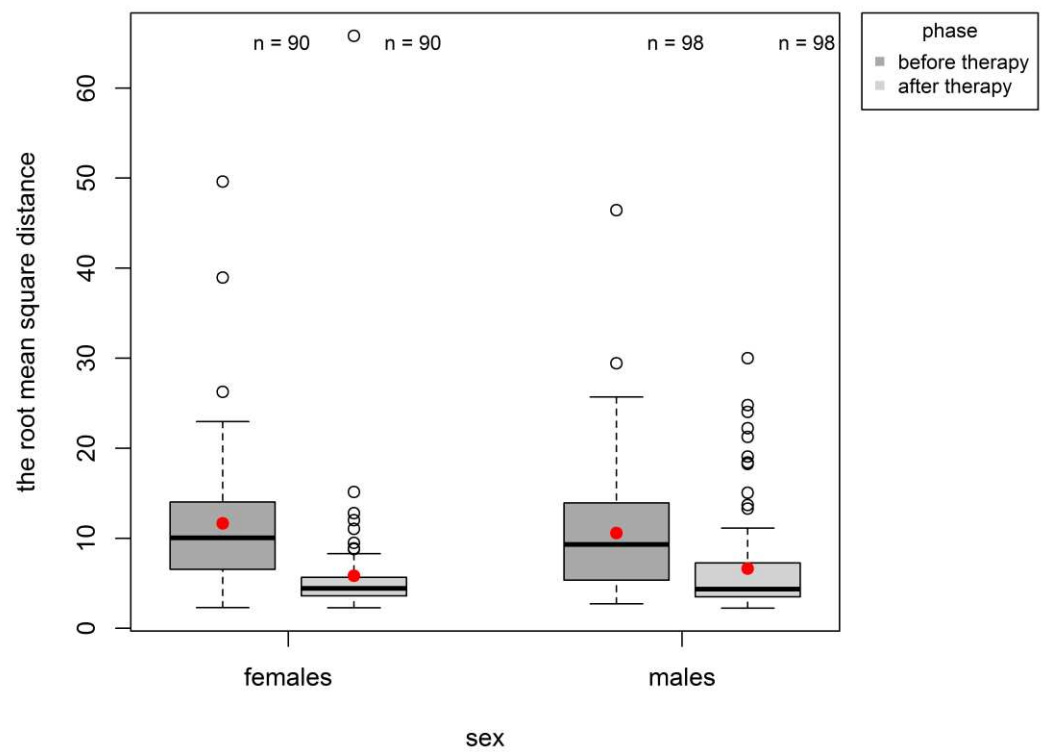


Figure 5. The root mean square distance in quiet stance with visual feedback.

The root mean square distance in the mediolateral axis in quiet stance with visual feedback was lower by 2.2 mm after the therapy than before the therapy, $p = 0.011$ (Figure 6).

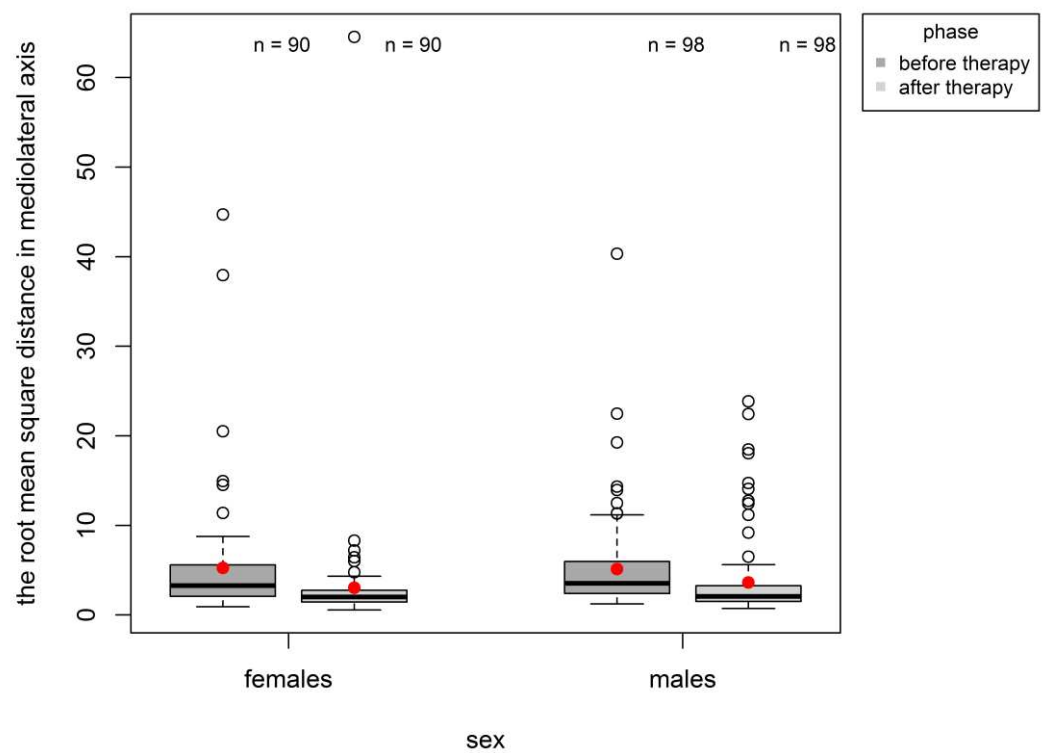


Figure 6. The root mean square distance in the mediolateral axis in quiet stance with visual feedback.

The root mean square distance in the anteroposterior axis in quiet stance with visual feedback was lower by 4.9 mm after the therapy than before the therapy, $p < 0.001$ (Figure 7).

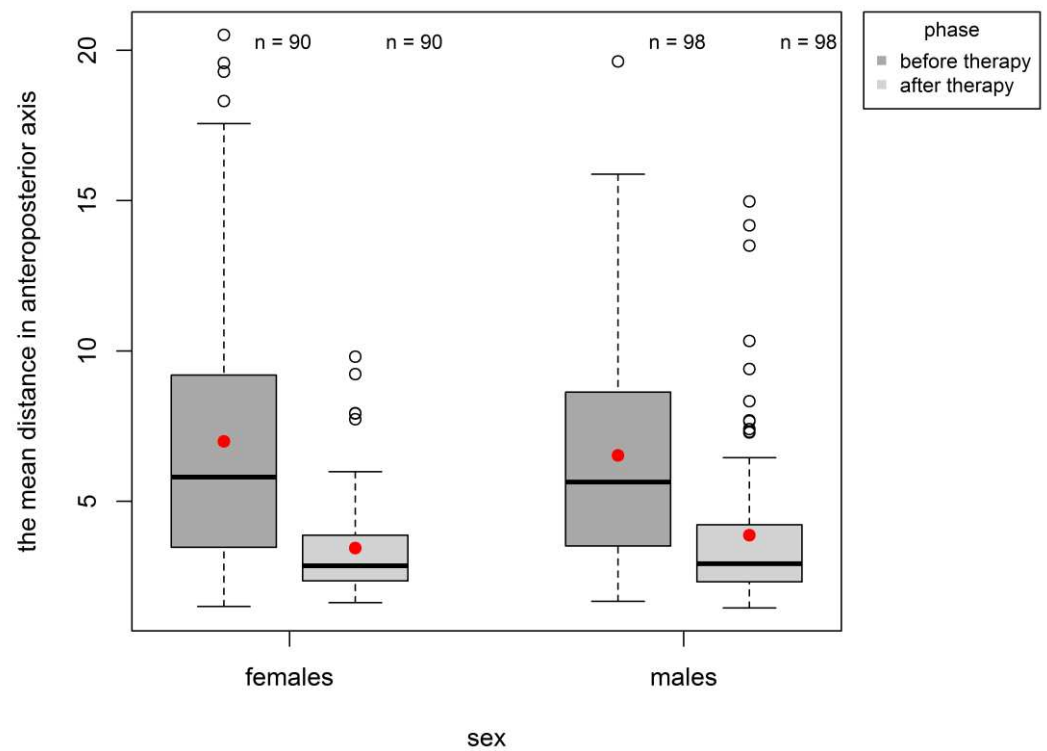


Figure 7. The root mean square distance in the anteroposterior axis in quiet stance with visual feedback.

The time required to complete the dynamic reference training scene was slower by 7.0 after the therapy than before the therapy, $p = 0.011$ (Figure 8).

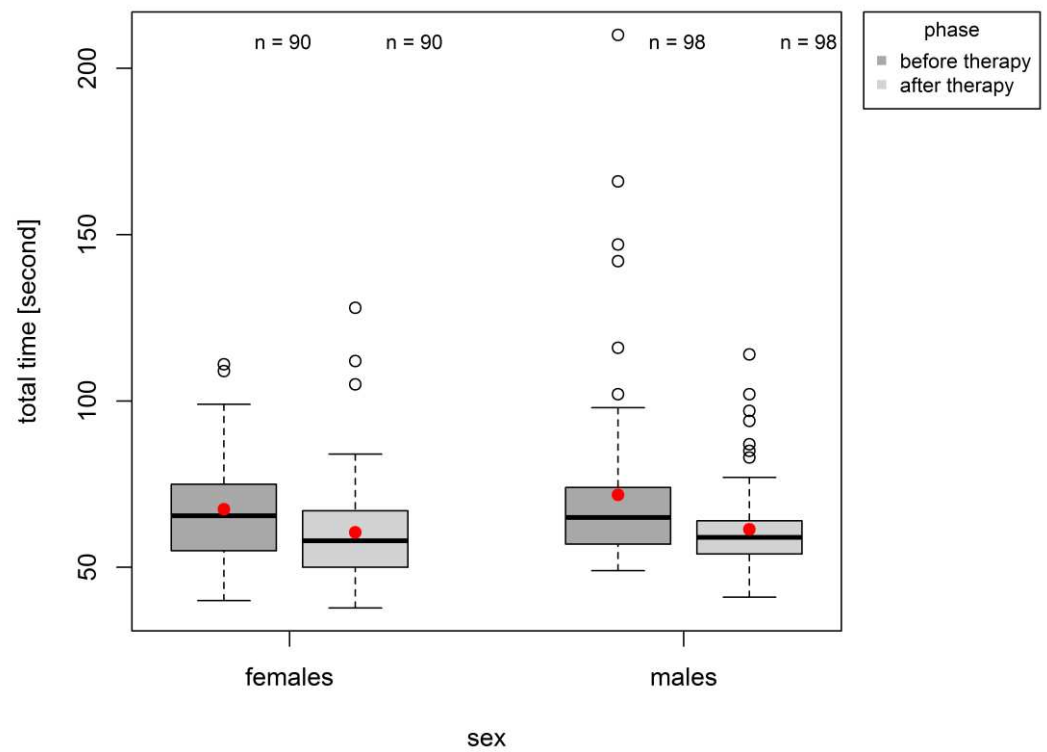


Figure 8. The time required to complete dynamic reference training scene.

No statistically significant difference was observed in the other parameters.

4. Discussion

Koda et al. detected more severe impairments in balance when simultaneously deprived of visual and somatosensory inputs or during a backward destabilization in women than in men [15]. In our study, there was also a statistically significant difference in the body sway in quiet stance between male and female patients. The body sway was lower in men than in women in quiet stance with eyes opened, eyes closed, and with visual feedback. The average route mean square distance from the center did not differ statistically significantly between male and female participants. The ability to stand symmetrically was the same and no differences were observed in the anteroposterior axis, which is also affected by anthropometric parameters.

The previous study showed highly significant positive correlations with age, both with subjects' eyes open and with their eyes closed, in healthy elderly adults [12]. In our investigation, no statistically significant effect was found regarding the patient's age on the measured parameters. All patients had the same diagnosis of vertebral algic syndrome, and their age range was 55 ± 12 years for males and 52 ± 12 years for females. There might be a difference in more diverse age groups.

A statistically significant difference was observed between the results of the measurements before and after therapy. A statistically significant reduction in the root mean square distance was detected in the quiet stance with visual feedback. Furthermore, a slight statistically significant reduction in the time required to complete the reference dynamic training scene was observed. The root mean square parameter in quiet stance with visual feedback and the duration of the reference scene are the most meaningful parameters for detecting the differences of the measured values after the therapy compared to the state before the therapy, if we assume that the therapy has an effect.

The therapy was focused on training the response to visual stimuli, which may be the reason why, without visual feedback, there was no statistically significant improvement in standing balance. Low et al. also mentioned the positive effect of game-like training with audiovisual feedback using WBB on the improvement in dynamic balance, but not in tests aimed at standing balance without visual feedback [18].

Postural disorder in chronic back pain could be associated with plastic changes in the muscular representation of the trunk in the motor cortex [3,4]. Active repetitive game-like training could lead to positive changes in postural stability due to its effect on the neuroplasticity of the brain and motor learning. Our study has shown the immediate positive effect of motor learning after a single therapeutic unit. Regular balance training with audiovisual feedback could lead to a long-term decrease in postural disorders in patients with VAS. The limitations of our study are the absence of long-term monitoring of the patients, the absence of more detailed examination on the degree of their back pain and a small range of age categories. In future research, it is appropriate to compare the dependence of postural stability on the degree of back pain in vertebral algic syndrome, to compare postural stability in more diverse age groups and to evaluate the effect of long-term therapeutic intervention in patients with VAS.

5. Conclusions

The design of the therapy was accepted across the patient group without the occurrence of any undesirable side effects, so it may be a beneficial and safe therapy for patients with vertebral algic syndrome. The results of measurements in quiet stance and reference training scene with audiovisual feedback suggest that there is an improvement in the ability of patients to respond adequately to visual stimuli after a single therapeutic unit.

Author Contributions: Formal analysis, T.V. and L.Š.; Investigation, J.P. and K.H. (Kristýna Hoidekrová); Methodology, P.S. and J.J.; Supervision, K.H. (Karel Hána) and M.L.-G.; Writing—original draft, M.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of REHABILITATION CENTER KLADRUBY (date of approval 14 October 2020).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study. Written informed consent has been obtained from the patient(s) to publish this paper.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to the privacy of probands.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

1. Ozcan Kahraman, B.; Kahraman, T.; Kalemci, O.; Salik Sengul, Y. Gender differences in postural control in people with nonspecific chronic low back pain. *Gait Posture* **2018**, *64*, 147–151. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Koch, C.; Hänsel, F. Non-Specific Low Back Pain and Postural Control During Quiet Standing-A Systematic Review. *Front. Psychol.* **2019**, *10*, 586. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Tsao, H.; Galea, M.P.; Hodges, P.W. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. Brain Advance Access published online on July 18. *Brain* **2008**, *131*, 2161–2171. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Goossens, N.; Janssens, L.; Caeyenberghs, K.; Albouy, G.; Brumagne, S. Differences in brain processing of proprioception related to postural control in patients with recurrent non-specific low back pain and healthy controls. *NeuroImage Clin.* **2019**, *23*, 101881. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Cyr, K.M.; Wilson, S.E.; Mehayar, F.; Sharma, N.K. Trunk Control Response to Unstable Seated Posture During Various Feedback Conditions in People with Chronic Low Back Pain. *J. Allied Health* **2019**, *48*, 54–60. [[PubMed](#)]
6. Henschke, N.; Lorenz, E.; Pokora, R.; Michaleff, A.Z.; Quartey, N.A.J.; Oliveira, V.C. Understanding cultural influences on back pain and back pain research. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* **2016**, *30*, 1037–1049. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Dufour, N.; Thamsborg, G.; Oefeldt, A.; Lundsgaard, C.; Stender, S. Treatment of chronic low back pain: A randomized, clinical trial comparing group-based multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation and intensive individual therapist-assisted back muscle strengthening exercises. *Spine* **2010**, *35*, 469–476. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Warburton, D.E. The health benefits of active gaming: Separating the myths from the virtual reality. *Curr. Cardiovasc. Risk Rep.* **2013**, *7*, 251–255. [[CrossRef](#)]
9. Searle, A.; Spink, M.; Ho, A.; Chuter, V. Exercise interventions for the treatment of chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Clin. Rehabil* **2015**, *29*, 1155–1167. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
10. Holmes, J.D.; Jenkins, M.E.; Johnson, A.M.; Hunt, M.A.; Clark, R.A. Validity of the Nintendo Wii® balance board for the assessment of standing balance in Parkinson’s disease. *Clin. Rehabil* **2013**, *27*, 361–366. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Kim, S.S.; Min, W.K.; Kim, J.H.; Lee, B.H. The effects of VR-based Wii fit yoga on physical function in middle-aged female LBP patients. *J. Phys. Ther. Sci.* **2014**, *26*, 549–552. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Komar, M.; Czerwosz, L. Physical Aspects of Posturography in Virtual Reality. *Acta Phys. Pol.* **2021**, *139*, 4. [[CrossRef](#)]
13. Katona, J.; Ujbanyi, T.; Sziladi, G.; Kovari, A. Examine the effect of different web-based media on human brain waves. In Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), Debrecen, Hungary, 11–14 September 2017; pp. 000407–000412.
14. Kovari, A.; Katona, J.; Costescu, C. Quantitative analysis of relationship between visual attention and eye-hand coordination. *Acta Polytech. Hung* **2020**, *17*, 77–95. [[CrossRef](#)]
15. Koda, Y.; Yamada, K.; Motomura, H.; Sunami, K. Periodic alternating nystagmus induced by light stimulation: A case report and review of the literature. *Otolaryngol. Case Rep.* **2021**, *21*, 100347. [[CrossRef](#)]
16. Accornero, N.; Capozza, M.; Rinalduzzi, S.; Manfredi, G.W. Clinical multisegmental posturography: Age-related changes in stance control. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Electromyogr. Mot. Control* **1997**, *105*, 213–219. [[CrossRef](#)]
17. Wolfson, L.; Whipple, R.; Derby, C.A.; Amerman, P.; Nashner, L. Gender differences in the balance of healthy elderly as demonstrated by dynamic posturography. *J. Gerontol.* **1994**, *49*, M160–M167. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
18. MSc, G.C.; ClinDocPT, D.T.; MSc, A.L.; Hewitt, J. Is Nintendo Wii an effective intervention for individuals with stroke? A systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy* **2015**, *101*, e904–e905.
19. Clark, R.A.; Mentiplay, B.F.; Pua, Y.H.; Bower, K.J. Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: A systematic review. *Gait Posture* **2018**, *61*, 40–54. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Bartlett, H.L.; Ting, L.H.; Bingham, J.T. Accuracy of force and center of pressure measures of the Wii Balance Board. *Gait Posture* **2014**, *39*, 224–228. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

4.3.6 Uplatnění Homebalance MA v širší praxi

Výhodami Homebalance MA oproti obdobným zdravotnickým prostředkům fungujícím na stejném principu jsou kompaktní rozměry, pochopitelné funkce, uživatelsky přívětivé ovládání a cenová dostupnost při zachování bezpečnosti a klinické účinnosti zdravotnického prostředku. Díky těmto vlastnostem se povedlo rozšířit Homebalance MA do běžné klinické praxe ve zdravotnických zařízeních. Ve studii na lůžkách včasné rehabilitace Geriatrického oddělení Všeobecné fakultní nemocnice při VFN bylo u skupiny 25 pacientů v akutním stádiu po cévní mozkové příhodě pozorováno srovnatelné zlepšení ve standardizovaném testu BBS při využití systému Homebalance MA jako při konvenční fyzioterapii. Terapie s audiovizuální zpětnou vazbou byla těmito pacienty pozitivně hodnocena [48].

Při používání systému Homebalance MA proškolenou osobou není nutná přítomnost zdravotnického pracovníka. Díky tomu je využíván také v nezdravotnických zařízeních, například v domovech seniorů nebo na rekondičních pobytech pacientů po poškození mozku. Šajtárová et al. ve svém článku uvádí výsledky studie efektu terapie s využitím systému Homebalance MA u patnácti klientů domova seniorů, u kterých došlo ke statisticky významně většímu zlepšení stability než u kontrolní skupiny, která podstoupila konvenční terapii [49]. Kajzar et al. ve svém článku popisuje výsledky studie, ve které zjistil silnou korelaci mezi parametrem SP při monitoringu stoje systémem Homebalance MA s výsledky standardizovaného testu Tinetti performance test u 135 geriatrických pacientů [50].

Zdravotnický prostředek Homebalance MA jsme vytvořili s cílem možnosti samostatné domácí terapie pacientů po poškození mozku různé etiologie. Novotná et al. ve svém článku uvádí výsledky studie zahrnující 39 pacientů s roztroušenou sklerózou z RS Centra při VFN, u kterých došlo ke zlepšení rovnováhy po čtyřtýdenním domácím tréninku s Homebalance MA [51]. V recenzovaných článcích jsme také publikovali kazuistiky využití Homebalance MA v domácím prostředí pacientů po poškození mozku z Kliniky rehabilitačního lékařství VFN a 1. LF UK [36, 52].

Systém Homebalance MA je využíván také na univerzitních pracovištích ve výuce a studentských pracích zdravotnických a biomedicínských oborů. Na FBMI ČVUT jsem vedla bakalářské práce oboru fyzioterapie na téma využití Homebalance MA u pacientů s poruchami rovnováhy v důsledku poškození mozku [53, 54, 55, 56, 57,

58, 59, 60, 61], u pacientů s osteoporózou [62], k hodnocení stability sedu u paraplegiků [63] a k hodnocení asymetrie stoje u houslistů [64].

Na 1. LF UK, 2. LF UK a 3. LF UK je využíván systém Homebalance MA ve výuce studentů fyzioterapie. Na 1. LF UK jsem vedla bakalářské práce na téma využití systému Homebalance MA u pacientů po poškození mozku [65, 66] a u seniorů [67].

Na Slovenské zdravotnicke univerzitě jsem vedla diplomovou práci na téma využití Homebalance v domově seniorů [68]. Na Masarykově univerzitě v Brně byly zpracovány diplomové práce na téma hodnocení stoje u neurologických pacientů [69] a hodnocení terapie pacientů s parkinsonovou chorobou pomocí Homebalance MA [70].

Systém Homebalance MA je využíván i nad rámec mnou iniciované vědecké činnosti a informace o tomto systému se objevují již také v review literatury zahraničních autorů [71, 72, 73, 74].

Vlastní přínos a publikační výstupy

Na některých výše uvedených článcích o systému Homebalance jsem se podílela jako autorka nebo spoluautorka při návrhu designu studie, hodnocení výsledků a přípravě publikace [36, 49, 50, 51]. V recenzovaném článku v časopisu Rehabilitační a fyzikální lékařství jsme publikovali také kazuistiku využití kombinace systému Homebalance MA s rozšířením náplně terapie o synchronní model telerehabilitace pomocí online videohovoru [52].

Telerehabilitace u pacienta s poruchou rovnováhy po cévní mozkové příhodě

Janatová M.^{1,2}, Šollová M.², Švestková O.¹

¹Klinika rehabilitačního lékařství 1, LF UK a VFN v Praze, přednostka prof. MUDr. O. Švestková, Ph.D.

²Společné pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI ČVUT a 1. LF UK

SOUHRN

Článek se zabývá významem telerehabilitace a popisem její aplikace v praxi. Jako praktický příklad v tuzemských podmínkách realizovatelného a cenově dostupného telerehabilitačního řešení předkládáme kazuistiku pacienta, u kterého jsme k telerehabilitačním intervencím využili interaktivní systém Homebalance pro trénink rovnováhy se stabilometrickou plošinou a vizuální zpětnou vazbou a aplikaci Skype pro on-line videohovor. Celkový přínos včetně udržitelnosti efektu terapie byl objektivizován posturografickým vyšetřením a standardizovanými testy. U pacienta došlo po terapii ke zlepšení ve standardi-

zovaných testech Berg Balance Scale, Mini-BESTest, Functional independence measure (FIM) a v posturografickém vyšetření. Zlepšení bylo částečně udržitelné i po dalších čtyřech týdnech bez terapie. Na základě vyplněného strukturovaného dotazníku byl zjištěn také pozitivní subjektivní dojem pacienta.

KLÍČOVÁ SLOVA

telerehabilitace, vizuální zpětná vazba, porucha rovnováhy, cévní mozková příhoda

SUMMARY

Janatová M., Šollová M., Švestková O.: Telerehabilitation for Patients with a Balance Disorder Who Are Recovering from a Stroke

The article describes the importance of telerehabilitation and provides a description of its application in practice. As a practical example of a feasible and affordable telerehabilitation approach in the domestic context, we present the case report of a patient with whom we have used, as a telerehabilitation intervention, the interactive Home balance system. The system was used for balance training, utilizing a stabilometric platform and visual feedback as well as the Skype application for online video calls.

The overall benefits, including sustainability of the effect of the therapy, were objectively verified using

posturographic examination and standardized tests. Following therapy, the patient measured improvement in the Berg Balance Scale, Mini-BESTest and Functional Independence Measure (FIM) standardized tests and in posturographic examination. The improvement remained partially sustained even after four weeks without therapy. Based on a structured questionnaire completed by the patient, the positive subjective impression of the patient was also ascertained.

KEYWORDS

telerehabilitation, visual feedback, balance disorder, stroke

Rehabil. fyz. Léč., 25, 2018, č. 1, s. xxx-xxx

ÚVOD

Telerehabilitace je jedním z odvětví telemedicíny. Představuje způsob poskytování rehabilitační intervence na dálku prostřednictvím telekomunikačních technologií. Termín telerehabilitace má své kořeny v Austrálii a Americe, kde v některých oblastech vzdálenost mezi městy dosahuje řádově stovky kilometrů (2). Stejnou myšlenkou

telerehabilitace je minimalizovat bariéru, kterou je vzdálenost a rozšířit tak dostupnost rehabilitačních služeb (1). Zavádění telerehabilitace do běžné praxe vede k rozšíření dostupnosti a zkvalitnění kontinuity mezi jednotlivými složkami zdravotnické intervence (6).

Pod pojem telerehabilitace patří různé typy metod od prosté konzultace po telefonu až po přístupy vy-

užívající interaktivní terapeutické systémy, senzory pohybu a fyziologických funkcí. Telerehabilitace umožňuje konzultace, monitoring a řízenou terapii v domácím prostředí pacienta (10). Synchronní model telerehabilitace probíhá po celou dobu on-line za účasti všech zúčastněných stran (11). Terapeut vede a kontroluje pacienta v průběhu cvičení na dálku v reálném čase prostřednictvím telekomunikačních technologií. Příkladem synchronní telekomunikace je videohovor prostřednictvím mobilního telefonu, počítače, nebo tabletu s připojením k internetu (12).

Asynchronní model telerehabilitace v off-line režimu zaznamenává, archivuje a následně vyhodnocuje získaná data. Asynchronní interakce představuje využívání e-mailu ke konzultacím, audiovizuálních záznamů k instrukcím, e-learningu, telerehabilitačních webových aplikací, nebo interaktivních systémů vhodných k domácí terapii (11). Hujitgen a spol. prokázali pozitivní efekt a bezproblémové ovládnutí asynchronní telerehabilitace u pacientů po poškození mozku (7). V rámci teleterapie jsou často využívány technické prostředky, které poskytují pacientovi zpětnou vazbu prostřednictvím vizuálních, akustických, nebo vibrotaktilních signálů (8). Zařazení interaktivních prvků ve formě audiovizuální zpětné vazby a monitoring úspěšnosti a pravidelnosti cvičení zvyšuje aktivní spolupráci a motivaci pacienta při terapii (5). Zpětná vazba umožňuje do určité míry nahradit insuficientní informace z proprioreceptorů a dalších senzorů pohybu (3). Interaktivní systémy na principu využití vizuální zpětné vazby představují inovativní přístup v rehabilitaci a pro pacienta motivující způsob terapie, která probíhá formou hry. Ze závěrů studií zaměřených na objektivizaci efektu terapie s využitím vizuální zpětné vazby u pacientů s poruchou rovnováhy po cévní mozkové příhodě vyplynulo, že tato terapie má pozitivní efekt na zlepšení stability a chůze (4, 9).

KAZUISTIKA

Jako praktický příklad telerehabilitačního řešení předkládáme kazuistiku pacienta z Kliniky rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze. Tento pacient s poruchou rovnováhy v důsledku cévní mozkové příhody absolvoval čtyřtýdenní telerehabilitaci v domácím prostředí s využitím interaktivního systému Homebalance v kombinaci s on-line synchronní telerehabilitací prostřednictvím aplikace Skype.

Použité technické vybavení

K terapii poruchy rovnováhy byl použit systém Homebalance, vyvinutý interdisciplinárním tý-

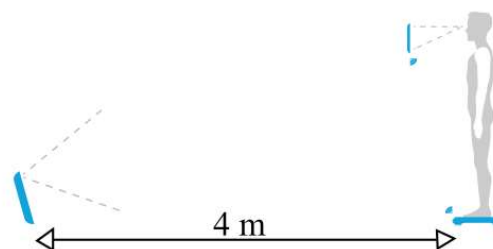
mem Centra podpory aplikačních výstupů a spin-off firem 1. LF UK, Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického a Kliniky rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze za účelem podpory terapie poruch rovnováhy u pacientů po poškození mozku. Bylo ověřeno, že systém je využitelný také v domácím prostředí (5). U pacientů s výraznější poruchou rovnováhy je vhodná pravidelná supervize domácí terapie pomocí online videohovoru, aby mohl být zkontrolován a korigován správný stoj na plošině a správné dýchání i celý průběh cvičení.

Vstupním zařízením systému je stabilometrická plošina Nintendo Wii Balance Board. Pomocí tenzometrických senzorů v plošině jsou detekovány změny polohy průmětu těžiště těla. Signál z plošiny je přenášen do tabletu pomocí bezdrátové technologie Bluetooth. Aktivní změnou polohy těžiště lze signál modulovat, čímž pacient ovládá terapeutickou scénu (obr. 1).



Obr. 1 Terapeutická scéna.

Pro synchronní telerehabilitaci byla zvolena forma videohovoru prostřednictvím mobilní aplikace Skype na tabletu umístěném ve vzdálenosti 4 metry před pacientem tak, aby byla viditelná celá postava pacienta při cvičení (obr. 2). Tablet určený k telekomunikaci, který pacient obdržel, byl již přednastaven tak, aby se příchozí hovor v aplikaci Skype automaticky spojil s volajícím.



Obr. 2 Umístění tabletu s aplikací Skype.

Metodika

Před zahájením telerehabilitace byl pacient řádně poučen a seznámen s plánovaným průběhem terapie v souladu se zákonem č. 372/2011 Sb. o zdravotních službách a Úmluvou o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001 a svým podpisem informovaného souhlasu schváleného etickou komisí VFN vyjádřil souhlas s provedením vyšetření a následné terapie. Studie byla provedena v souladu s etickými standardy etické komise VFN, odpovědné za provádění klinických studií a Helsinskou deklarací z roku 1975, revidovanou v roce 2000.

V rámci vstupního vyšetření byl pacient seznámen s ovládním systému Homebalance. Byl mu předán instruktážní manuál a záznamový arch, do kterého pacient denně zaznamenával údaje z průběhu cvičení. Dále byl vysvětlen plánovaný průběh synchronních telerehabilitačních intervencí prostřednictvím aplikace Skype.

Před začátkem telerehabilitační intervence, po jejím ukončení a následně v odstupu 4 týdnů bez terapie byl proveden kineziologický rozbor, posturografické vyšetření na přístroji Synapsis Posturography System a standardizované testy Berg Balance Scale a Mini-BESTest. Po celou dobu průběhu studie pacient nepodstoupil žádnou jinou terapii.

Telerehabilitační intervence probíhala po dobu čtyř týdnů. Synchronní telerehabilitace formou videohovoru po Skype probíhaly 3x týdně po dobu 45 minut z důvodu kontroly a korekce správného stoje na plošině a plnění terapeutických scén. Po zbytek týdne cvičil pacient každý den sám po dobu 45 minut podle manuálu formou asynchronní telerehabilitace pouze s využitím systému Homebalance. Na začátku každé terapeutické jednotky byla provedena vždy stejná referenční dynamická scéna, u které byl měřen čas potřebný k jejímu dokončení. Výsledky měření z diagnostické fáze byly pacientem zasílány ke zpracování prostřednictvím e-mailu. Spokojenost pacienta s telerehabilitací byla ověřena pomocí dotazníku.

Vstupní vyšetření

Pacient, muž ve věku 42 let, 2 roky po hemoragické cévní mozkové příhodě s reziduální pravostrannou hemiparézou, před zahájením telerehabilitační intervence docházel ambulantně na Kliniku rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze, kde již dříve absolvoval také denní rehabilitační stacionář pro pacienty po poškození mozku. S terapií na stabilometrické plošině s využitím systému Homebalance měl již zkušenosti.

Při vstupním vyšetření byl stoj stabilní o široké bázi, v ostatních modifikacích stoje byly přítomny výrazné titubace trupu. Stabilita stoje se zhoršovala s užší bází a se zavřenými očima. Tandemový stoj

nezvládl, možný byl pouze semitandemový stoj, ve kterém pacient vydržel stát po dobu 30 vteřin. Stoj na pravé dolní končetině nezvládl, stoj na levé dolní končetině byl možný po dobu sedmi vteřin. Chůze pacienta byla samostatná, bez kompenzačních pomůcek, bez dopomoci. Charakter chůze pacienta byl hemiparetický, s cirkumdukci, bez souhybu horních končetin. Patologický stereotyp chůze byl patrný zejména ve švihové fázi kroku na pravé dolní končetině, kde na základě spastického držení docházelo ke kompenzaci pohybu v kyčelním kloubu se souhybem trupu. Chůze do schodů byla výrazně nestabilní. Na pravé dolní končetině byla zaznamenána hypestezie a snížená hybnost. V rámci posturografického vyšetření byly vyhodnocovány parametry plocha statokineziogramu a délka trajektorie průmětu polohy těžiště. Ve všech vyšetřovaných modifikacích stoje byly hodnoty vyšší, než normy u zdravé populace. V Berg Balance Scale testu bylo při vstupním vyšetření dosaženo 50 bodů z celkových 56 možných. V testu Mini-BESTest bylo dosaženo 17 bodů z celkových 28 bodů možných. Při stoji na dvou vahách bylo naměřeno na pravé dolní končetině o 4,1 kg větší zatížení než na levé. V testu Funkční soběstačnosti FIM dosáhl pacient 114 z celkem 124 bodů. V Mini mental state examination dosáhl pacient plného počtu bodů.

Tab. 1 Stručný přehled náplně telerehabilitace.

Týden terapie	Náplň telerehabilitace
I.	<ul style="list-style-type: none"> podrobnější seznámení se systémem Homebalance, zvládnutí správné techniky stoje trénink zaměřen na střídavé vychylování těžiště v předozadním a laterolaterálním směru postupné zvyšování obtížnosti dílčím nastavením citlivosti plošiny a požadovaného času setrvání v jednotlivých pozicích
II.	<ul style="list-style-type: none"> rovnoměrné přenášení váhy do všech směrů přenášení váhy v předozadním směru ze špiček na paty
III.	<ul style="list-style-type: none"> trénink větších výchylek v laterolaterálním směru přenášení váhy na špičky a paty trénink tandemového stoje a stoje o úzké bázi trénink s plošinou v poloze těžiště promítaného zrcadlově obráceně (variabilním postavením plošiny) kombinace změn polohy těžiště s tréninkem paměti
IV.	<ul style="list-style-type: none"> trénink střídavého propojení předozadního a laterolaterálního pohybu trénink krajních poloh na špičkách a na patách s přenášením váhy po přesně dané trajektorii

Subjektivně si pacient v rámci vstupního vyšetření kromě oblasti poruch rovnováhy stěžoval na přetrvávající dysartrii a horší výbavnost slov ve stresových situacích.

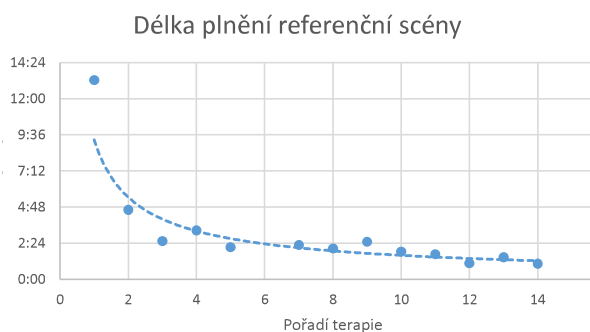
Průběh telerehabilitace

Telerehabilitační intervence formou videohovoru probíhaly třikrát týdně po dobu 45 minut. Po zbytek týdne cvičil pacient se systémem Homebalance samostatně podle manuálu. Při každé terapii byla jako první zařazena referenční dynamická scéna, vždy se stejným zadáním, aby bylo možné porovnat čas potřebný k jejímu dokončení v jednotlivých dnech. Další náplň terapie byla přizpůsobena aktuálnímu stavu a schopnostem pacienta (tab. 1).

Výsledky

Výstupní posturografické vyšetření prokázalo zlepšení ve všech měřených parametrech. Při výstupním vyšetření bylo pozorováno významné zlepšení stereotypu chůze a zvětšení rozsahu pohybu na paretické pravé dolní končetině v kyčelním a hlezenním kloubu. Zlepšení bylo prokázáno také ve výdrži ve stoji na jedné dolní končetině. V rámci výstupního vyšetření pacient vydržel v klidu ve stoji na pravé dolní končetině sedm vteřin a na levé dolní končetině jednu minutu. Při stoji na dvou vahách bylo naměřeno na pravé dolní končetině o 1 kg větší zatížení než na levé.

V testu Berg Balance Scale bylo dosaženo progresu s výpovědní hodnotou při zlepšení ve čtyřech bodech testu oproti vstupnímu vyšetření z 50 na 54 bodů. V Mini-BESTest bylo zaznamenáno zvýšení skóre o pět bodů testu ze 17 na 22 bodů, konkrétně v postavení se na špičky a v kompenzačních reakcích. V testu FIM bylo dosaženo 116 bodů. Subjektivně pacient pociťoval zlepšení zejména v chůzi do schodů, ve výdrži při chůzi na delší vzdálenosti a zlepšení pozoroval i v oblasti dysartrie. V průběhu terapeutické intervence došlo ke zkrácení času potřebného k dokončení referenční dynamické terapeutické scény na plošině (graf 1).



Graf 1 Délka plnění referenční dynamické scény při synchronní telerehabilitaci.

Kontrolní follow-up vyšetření bylo provedeno po čtyřech týdnech za účelem ověření dlouhodobé udržitelnosti efektu terapie. V rámci kontrolního vyšetření byla prokázána udržitelnost efektu terapie v oblasti zlepšení stereotypu chůze a chůze do schodů. Při stoji na dvou vahách bylo naměřeno na pravé dolní končetině o 3,4 kg větší zatížení než na levé. V posturografickém vyšetření byl efekt terapie částečně udržitelný. V Berg Balance Scale bylo dosaženo 52 bodů. V testu Mini-BESTest bylo dosaženo 19 bodů. V testu FIM bylo dosaženo 116 bodů (tab. 2).

Tab. 2 Porovnání výsledků při vstupním, výstupním a kontrolním vyšetření.

Vyšetření	Stoj na 2 vahách (rozdíl) [kg]	Berg Balance Scale (body)	Mini BESTest (body)	FIM (body)
Vstupní	4,1	50	17	114
Výstupní	1	54	22	116
Kontrolní	3,4	52	19	116

Telerehabilitační intervence probíhaly bez komplikací. Spojení přes aplikaci Skype se podařilo navázat vždy, občasné docházelo k výpadkům zvuku a zrnitosti obrazu způsobeným slabým Wi-fi signálem. Konec každé terapie byl věnován cvičení k uvolnění a protažení dolních končetin.

Z dotazníku spokojenosti vyplynulo, že telerehabilitace nepředstavovala pro pacienta subjektivně vpád do soukromí, instalace technické podpory byla jednoduchá a pacient by opětovně využil tuto formu terapie. Pacient by neupřednostnil telerehabilitaci před ambulanti terapií, ale využil by ji jako vhodný doplněk. Nejvíce oceňována byla ze strany pacienta úspora času a možnost cvičit s vizuální zpětnou vazbou každý den.

DISKUSE

V odborné literatuře je uváděno, že zavedení telerehabilitace do běžné praxe povede k rozšíření dostupnosti rehabilitace, zkvalitnění kontinuity mezi jednotlivými složkami zdravotní péče a k úspoře nákladů (6).

Hujitgen a spol. využili princip asynchronní telerehabilitace u skupiny 81 pacientů po cévní mozkové příhodě, traumatickém poranění mozku a u pacientů s roztroušenou sklerózou. Bylo pozorováno srovnatelné zlepšení ve výzkumné skupině, která podstoupila každodenní telerehabilitaci v domácím prostředí i v kontrolní skupině, která absolvovala konvenční ambulanti terapii třikrát týdně. Zaškolení a provádění tele-

rehabilitace bylo pacienty hodnoceno jako snadné a bezproblémové (7). Také v rámci kazuistiky v tomto článku bylo provádění telerehabilitace bez komplikací. Docházelo pouze k občasnému výpadku signálu videohovoru, ostatní technické prostředky fungovaly bez problémů a pacient uměl všechny komponenty ovládat.

Ve studiích zaměřených na využití vizuální zpětné vazby u pacientů s poruchami rovnováhy po cévní mozkové příhodě byl zjištěn pozitivní efekt především na rychlost chůze a rovnováhu (4, 9). V kazuistice pacienta v této práci bylo po čtyřech týdnech telerehabilitační intervence zjištěno zlepšení chůze, laterolaterální symetrizace stoje na dvou vahách, zlepšení výsledků v posturografickém vyšetření a ve standardizovaných testech Berg Balance Scale a Mini-BESTest. Po čtyřech dalších týdnech bez terapeutické intervence došlo k mírnému zhoršení ve výsledcích standardizovaných testů Berg Balance Scale a Mini-BESTest, ve stoji na dvou vahách a v posturografickém vyšetření. Výsledky ve všech testech však byly lepší, než při vstupním vyšetření. Byla tedy pozorována částečná udržitelnost efektu telerehabilitace i po čtyřech týdnech bez terapie.

Výhodou telerehabilitace je možnost využití vizuální zpětné vazby a monitoringu progresu, což zvyšuje efektivitu terapie a motivaci pacienta (5). Při telerehabilitaci se systémem Homebalance byl pacient motivován terapií formou hry i zkracováním času potřebného ke splnění vždy stejné referenční scény. Největší progres byl přítomen mezi první a druhou terapií. Při první terapii pacient ještě plně nechápal princip terapeutické scény, který mu musel být opětovně vysvětlen prostřednictvím on-line Skype hovoru. Při dalších terapiích byl pozorován trend postupného mírného zlepšení, bylo tedy přínosné v telerehabilitaci i nadále pokračovat. Subjektivně hodnotil pacient telerehabilitační intervenci pozitivně, motivovala ho k pravidelné fyzické aktivitě v běžném denním režimu.

ZÁVĚR

Telerehabilitace má potenciál stát se účelným doplňkem konvenční rehabilitační intervence a napomoci tak dostupnosti a zvyšování úrovně poskytovaných služeb. Tento přístup by mohl přinést výhody nejen pro samotné pacienty, ale také pro rehabilitační lékaře a fyzioterapeuty. V praxi by mohl vést ke zvýšení efektivitu procesu neurorehabilitace.

Kombinace interaktivního systému Homebalance a synchronní telerehabilitace s využitím aplikace

Skype v uvedené kazuistice měla pozitivní efekt na zlepšení rovnováhy pacienta i na motivaci k pravidelnému cvičení.

Jedním z důvodů, proč telerehabilitace dosud není součástí běžné klinické praxe, je doposud nedostačující klinický výzkum a nízká účast pacientů v již publikovaných studiích. V pilotních studiích a kazuistikách je pozorován pozitivní efekt telerehabilitační intervence. Pro validní ověření efektu telerehabilitace a definování optimálních metodických postupů bude třeba zpracovat rozsáhlejší studii na větším vzorku pacientů. Díky rozšíření internetu a cenově dostupných přenosných technologií je již telerehabilitaci možné zařadit jako jednu ze složek dlouhodobého neurorehabilitačního procesu. Základním pilířem úspěšného průběhu neurorehabilitace i přes rozvoj moderních technologií a telerehabilitačních přístupů nadále zůstává včasná a intenzivní rehabilitace na akutních lůžkových odděleních a poté navazující pravidelná terapeutická intervence v přímém kontaktu terapeuta s pacientem. Nejlepší výsledky vidíme v kombinaci obou možností.

LITERATURA

- 1 **ADEY-WAKELING, Z., CROTTY, M.:** Upper limb rehabilitation following stroke: current evidence and future perspectives. *Aging Health*, 2013, č. 6, s. 629-647.
- 2 **BRIENZA, D., MCCUE, M.:** Introduction to telerehabilitation. *Telerehabilitation*. Springer, 2013, s. 1-11.
- 3 **BRUGET, N.:** Využití zpětné vazby v rehabilitaci pacientů s poruchami chůze po cévní mozkové příhodě. *Rehabil. fyz. Lék.*, roč. 22, 2015, č. 2, s. 70-78.
- 4 **CORBETTA, D., IMERI, F., GATTI, R.:** Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 2015, č. 3, s. 117-124.
- 5 **DAREKAR, A., FADYEN, B., LAMONTAGNE, A., FUNG, J.:** Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2015, č. 1, s. 46-60.
- 6 **HAILEY, D., ROINE, R., OHINMAA, A., DENNETT, L.:** Evidence of benefit from telerehabilitation in routine care: A systematic review. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2011, č. 6, s. 281-287.
- 7 **HUIJGEN, B., VOLLENBROEK-HUTTEN, M., ZAMPOLINI, M.:** Feasibility of a home-based telerehabilitation system compared to usual care: Arm/hand function in patients with stroke, traumatic brain injury and multiple sclerosis. *Journal of Telemedicine and Telecare*, roč. 2008, č. 5, s. 249-256.
- 8 **JANATOVÁ, M., TICHÁ, M., MELECKÝ, R., HÁNA, K., ŠVESTKOVÁ, O., JEŘÁBEK, J.:** Pilotní studie využití tenzomet-

rické plošiny v domácí terapii poruch rovnováhy. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie, 2016, č. , s. 591-594.

9. LI, Z., XIU-GUO, H., SHENG, J., SHAO-JUN, M.: Virtual reality for improving balance in patients after stroke: A systematic review and meta-analysis. Clinical Rehabilitation, 2016, č. 5, s. 432-440.

10. SEELMAN, K., HARTMAN, L.: Telerehabilitation: policy issues and research tools. International Journal of Telerehabilitation, 2009, č. 1, s. 37-48.

11. STŘEDA, L., HÁNA, K.: eHealth a telemedicína..GRADA, 2016, s. 92-94.

12. VERAS, M., KAIRY, D., ROGANTE, M., GIACOMOZZI, C., SARAIVA, S.: Scoping review of outcome measures used in

telerehabilitation and virtual reality for post-stroke rehabilitation. Journal of Telemedicine and Telecare, 2016, č. 6, s. 567-587.

Adresa ke korespondenci:

MUDr. Markéta Janatová

Společné pracoviště FBMI a 1. LF UK

Studničkova 7

128 00 Praha 2

e-mail: marketa.janatova2@lf1.cuni.cz

5. Diskuse

Cílem práce byl výzkum, návrh, experimentální vývoj a ověření využitelnosti systému pro terapii poruch rovnováhy s využitím tenzometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby. Na tomto procesu jsem se podílela jako jedna z klíčových členů týmu od prvotní ideje až po zdravotnickou certifikaci a uvedení do klinické praxe. V průběhu vývoje jsme testovali různé varianty audiovizuální zpětné vazby a průběžně zohledňovali nové poznatky z vědecké literatury, z klinické praxe, z výsledků pilotních studií efektu terapie, od odborníků z interdisciplinárního týmu, od expertů z klinické praxe i od pacientů a jejich rodin.

Návrh a testování technického řešení pro snímání polohy těžiště

Pro detekci polohy těžiště pacienta jsme zvažovali různé varianty senzorů. Z existujících možností jsme zvolili tenzometrickou plošinu z důvodu, že se jedná o bezpečné řešení s jednoduchou instalací a snadným ovládáním, nevyžadující pokročilé technické znalosti obsluhy.

Tenzometrické plošiny určené primárně pro využití na vědeckých pracovištích nebo ve zdravotnických zařízeních se pohybují ve vysokých cenových relacích, což by znemožnilo běžné využití v domácím prostředí pacientů. Většina z plošin nemá dostatečně kompaktní rozměry pro přenos do domácího prostředí.

U různých diagnostických systémů se metodika měření a použitých algoritmů pro výpočet parametrů stability liší. Normy pro zdravou populaci u některých přístrojů chybí, nebo jsou zpracovány pro blíže nedefinovaný soubor probandů. Při měření stoje může být pacient postaven do stoje o širí dle svých aktuálních možností, nebo je naopak veden podle návodu k použití k tzv. standardizovanému stoju, kdy jeho chodidla na plošině svírají úhel 30° . Tato varianta stoje je pro pacienty s výraznějšími poruchami rovnováhy nemožná bez opory.

V pilotních vědeckých studiích bylo pozorováno zlepšení rovnováhy po tréninku s využitím plošiny WBB [25, 34]. Barlett et al. i Clark et al. uvádí, že tato plošina má dostatečnou přesnost detekce průmětu polohy těžiště [37, 38]. Plošina WBB je lehká, přenosná a cenově dostupná. Z těchto důvodů představovala plošina WBB optimální řešení. Ověřili jsme, že parametry WBB jsou srovnatelně vhodné pro využití u pacientů jako parametry plošiny SPS, která je určena pro využití ve zdravotnických zařízeních [39].

Pro pravidelnou kontrolu kvality a funkce senzorů v plošině od roku 2018 provádíme produkční test plošiny WBB při výrobě terapeutického systému a poté každý rok v rámci pravidelné BTK. Výsledky produkčních testů jsou vždy zaznamenány v protokolu o provedení testu plošiny a následně vloženy do technické složky zdravotnického prostředku. Do roku 2022 bylo v produkčním testu testováno 41 plošin, ze kterých testem neprošla jedna plošina. Při opakovaném testování v rámci pravidelných BTK prošly testem všechny plošiny. Plošina, která neprošla produkčním testem, nepředstavovala zvýšené riziko pro pacienty, protože byla vyřazena ještě před kompletací zdravotnického prostředku. Na základě rešerše literatury, pilotního testování, srovnání s plošinou SPS a výsledků produkčního testu jsme ověřili hypotézu, že tenzometrická plošina WBB má odpovídající parametry pro bezpečnou aplikaci v terapii poruch rovnováhy.

V softwarovém řešení hry Wii Fit Plus pro herní konzoli Nintendo je plošina WBB automaticky kalibrována podle hmotnosti uživatele stojícího na plošině, instruovaného přímo uživatelským rozhraním softwaru. Toto řešení je výhodné u zdravé populace. Při testování jsme zjistili, že pacienti po poškození mozku s poruchami rovnováhy potřebují individuální nastavení odezvy scény v závislosti na své hmotnosti i na svých schopnostech. Pacienti, kteří mají snížený rozsah pohybu těžiště (tzv. limity stability), potřebují nastavit vyšší citlivost odezvy herní scény. Pro pacienty, kteří v důsledku třesu nebo snížené koordinace pohybu nedokážou udržet těžiště v jednom místě, je nutné naopak nastavit citlivost nižší. Proto je potřeba, aby u pacientů provedl nastavení citlivosti proškolený terapeut a není vhodné zohledňovat jako jediný parametr pouze hmotnost pacienta.

Míru odezvy herní scény na změnu signálu z plošiny je také vhodné modifikovat v závislosti na terapeutickém cíli. Pokud je například cílem zvýšit limity stability, odezvu scény na signál z plošiny terapeut postupně snižuje. To může být výhodné u pacientů, kteří mají snížené limity stability z důvodu, že se obávají pádu. Při vysoké odezvě herní scény na signál z plošiny nejprve získají potřebnou jistotu a sebevědomí, při následném snížení odezvy pak mohou postupně zlepšit svoji schopnost vychylovat těžiště ve stranové i předozadní ose a snížit tak riziko pádů. Z těchto důvodů jsme pro nastavení odezvy tréninkové scény na signál z WBB ne zvolili automatickou kalibraci, ale manuální nastavení uživatelem. Nastavení jsem navrhla umístit do stejného okna jako nastavení samotné herní scény, protože jsme v předchozích verzích u pacientů detekovali sníženou schopnost orientace v uživatelském rozhraní.

Umístění ovládacích prvků do jednotného dialogového okna se ukázalo jako uživatelsky nejprívětivější varianta. Tři stupně nastavení citlivosti se při testování ukázaly jako dostatečné.

Experimentální vývoj a testování scén pro audiovizuální zpětnou vazbu

Jako zobrazovací jednotka bylo v první fázi vývoje použito plátno se zpětnou aktivní stereoskopickou projekcí, která umožňuje vyšší imerzi do virtuálního prostředí [44]. Díky zpětné projekci bylo možné vytvořit rozměrné zobrazení na plátně i v malém prostoru laboratoře. Další výhodou byl fakt, že pacient stojící na plošině WBB v průběhu terapie nemohl zastínit částí svého těla promítaný obraz.

V review literatury je uváděno, že kombinace konvenčních metod s prostředky virtuální reality by mohla být efektivnější cestou pro zlepšení rovnováhy než rehabilitace bez využití technických prostředků. Počet a kvalita nalezených studií, ze kterých tyto přehledové články vycházejí, však není optimální [19, 20, 21, 22].

Zjistili jsme, že audiovizuální zpětná vazba nemusí být realizována pouze pomocí velkého plátna, stereoskopické projekce a imerzivní virtuální reality. V pilotních studiích byly na vědeckých pracovištích vytvořeny a úspěšně testovány také jednoduché nestereoskopické scény [34, 35].

Kromě zdravotnických prostředků byly pro trénink rovnováhy v některých zahraničních studiích použity také běžné herní konzole s poutavou, ale neimerzivní a nestereoskopickou audiovizuální zpětnou vazbou [25]. Herní konzole určené pro zdravou populaci jsou výhodné z důvodu, že jsou cenově dostupné, přenosné a motivující. Cena se pohybuje v řádech tisíců, kdežto ceny medicínských přístrojů jsou v řádech statisíců až milionů Kč. Herní konzole však mají řadu limitujících faktorů. Úlohy nejsou zaměřené na specifický problém, vizuální prezentace nereflektuje dostatečně přesně pacientův pohyb a pacient může být také demotivován příliš vysokou obtížností úkolů. Při využití herních konzolí se mohou vyskytnout zdravotní komplikace [27].

V námi vyvíjeném rehabilitačním systému jsme sice využili plošinu WBB, která je původně určena pro herní konzoli Nintendo Wii, ale audiovizuální zpětnou vazbu jsme vytvořili s ohledem na bezpečnost a klinickou účinnost u pacientů s poruchami rovnováhy. Při testování se žádné nežádoucí účinky nevyskytly a terapie se zdravotnickým prostředkem Homebalance MA byla všemi pacienty dobře snášena [36, 44, 17, 45, 47, 52].

Pro některé pacienty, u kterých jsme testovali virtuální scény, nebyla použitelná aktivní stereoskopická projekce z důvodu kinetózy nebo poruchy zrakových funkcí. Druhou verzi audiovizuální zpětné vazby ve formě komplexních virtuálních scén jsme testovali v nestereoskopickém zobrazení na velkém plátně se zpětnou projekcí. Zpočátku pacienti zvládali plnit zadání obvykle pouze s asistencí fyzioterapeuta [41]. U některých pacientů i u obsluhujícího personálu se také při využití těchto scén vyskytla kinetóza z důvodu diskrepance mezi senzorickými vstupy.

Zlepšení rovnováhy jsme v rámci kazuistik pozorovali i po terapeutické intervenci s využitím jednoduché virtuální scény a běžného monitoru nebo tabletu, jehož podstatnou výhodou je cenová dostupnost, přenosnost a možnost použití v domácím prostředí [17]. U těchto jednoduchých scén se nevyskytovala kinetóza a byla potřeba nižší míra asistence. Z těchto důvodů jsme pro finální variantu řešení i přes nevýhodu menší imerze vybrali tablet s 2D jednoduchými terapeutickými scénami [47].

Pro domácí terapii bylo nutné vytvořit vhodné a jednoduše pochopitelné grafické zpracování scén s audiovizuální zpětnou vazbou. Při volbě podoby vizuální zpětné vazby je potřeba brát ohledy také na stav zrakových funkcí, které mohou být poškozeny například v důsledku neurologického onemocnění. Dobré viditelnosti lze docílit vhodným výběrem velikosti zobrazení, vysokými kontrasty mezi jednotlivými prvky a volbou takových barevných kombinací, které jsou jasně rozlišitelné i v případě očních vad. Také při našem testování jsme se setkali s nutností přizpůsobit grafiku terapeutických scén. V grafice terapeutické scény Šachovnice jsme museli změnit barevnou kombinaci označení pole na šachovnici, aby byla viditelná i pro barvoslepé pacienty. Ve scéně Vesmír jsme museli zvýšit kontrast mezi pozadím a objekty, aby byly viditelné i pro pacienty s těžšími poruchami zraku.

Zpětná vazba může být nedostatečně vnímána také pacienty s neglect syndromem, kteří mají v důsledku poškození mozku sníženou schopnost uvědomování si podnětů z poloviny prostoru. Pro pacienty s neglect syndromem je v ambulantním prostředí vhodná například námi vytvořená virtuální scéna Město, ve které je jedním z úkolů přejít přes přechod na rušné silnici. Díky audiovizuální zpětné vazbě tak mohou pacienti v bezpečí opakovaně trénovat tuto náročnou situaci a získat potřebné dovednosti pro přecházení silnice v reálném prostředí.

Auditivní složku audiovizuální zpětné vazby jsme také vždy museli přizpůsobit na míru individuálním pacientům. Vzhledem k postupnému zhoršování sluchu

zejména v oblasti vysokých frekvencí u osob vystavených nadměrnému hluku nebo v důsledku stárnutí je nutné vždy ověřit, zda je hlasitost a frekvence zvuku pro pacienta slyšitelná. Slyšitelnost zvukových signálů jsme tedy při testování museli ověřovat zejména u geriatrických pacientů.

Monitoring biotelemetrickým systémem

Posturální stabilita může být ovlivněna emočními faktory a stresem [5, 6, 7]. Proto jsme při terapiích v laboratorním prostředí testovali možnost monitoringu dalších parametrů, pomocí kterých by bylo možné indikovat hladinu stresu. Nejprve jsme testovali systém VLV Lab, který je určený pro monitoring fyziologických funkcí. Při hodnocení naměřených dat v průběhu tréninku rovnováhy na tenzometrické plošině jsme detekovali reakce pacienta na audiovizuální podněty, které nebyly viditelné při pouhém pozorování pacienta nebo hodnocení parametrů naměřených tenzometrickou plošinou [43]. Ověřili jsme hypotézu, že monitoring biotelemetrickým systémem v průběhu tréninku s audiovizuální zpětnou vazbou umožňuje hodnocení změn psychofyziologického stavu člověka.

Pomocí analýzy přístrojem detekovaných změn dechové frekvence, tepové frekvence a kožního odporu je možné hodnotit míru stresu v průběhu tréninku s audiovizuální zpětnou vazbou. Systém VLV Lab však není vzhledem ke své omezené odolnosti a nutnosti využití kabelů vhodný pro monitoring pacienta v domácím prostředí. Pro monitoring fyziologických funkcí a energetického výdeje v domácím prostředí se nám na základě testování jeví jako vhodnější systém Flexiguard, který umožňuje monitoring fyziologických funkcí a energetického výdeje [46].

Při rutinním každodenním tréninku rovnováhy není nutné používat senzory fyziologických funkcí, protože monitoring pomocí WBB se ukázal v pilotních studiích jako dostatečné řešení a v průběhu intervencí nebyly zaznamenány žádné nežádoucí události [36, 17, 47, 52]. Monitoring fyziologických funkcí však může být přínosný při zpracování vědeckých studií zaměřených na hodnocení komplexního působení terapie s audiovizuální zpětnou vazbou. Přínosný může být také při hodnocení hladiny stresu pacienta, pokud bychom vyvíjeli nové, doposud netestované terapeutické herní scény, u kterých by bylo potřeba ověřit náročnost a bezpečnost pro pacienty.

Vývoj a zdravotnická certifikace finální verze terapeutického systému

Při experimentálním vývoji finální verze terapeutického systému jsme ověřovali použitelnost jeho jednotlivých složek. Z hardwarových komponent jsme pro domácí

terapii zvolili plošinu WBB a tablet s ergonomickým nastavcem. Tyto komponenty se v klinické praxi osvědčily a v průběhu terapie nedocházelo k nežádoucím účinkům. Pro některé pacienty byla herní scéna na displeji příliš malá. Tento problém jsme vyřešili možností propojení tabletu s větším monitorem.

Design terapeutických her jsme postupně modifikovali na základě testování v klinické praxi. Z různých typů audiovizuální zpětné vazby jsme vybrali jednoduché herní scény, které pacienti dokázali plnit samostatně. Jejich design jsme postupně na základě testování upravili tak, aby scény obsahovaly pochopitelné a snadno viditelné prvky. Uživatelské rozhraní jsme zjednodušili, aby byli schopni pacienti spustit terapii v domácím prostředí samostatně a nedocházelo k nežádoucímu přenastavení parametrů terapie.

Data z terapií jsou ukládána pro možnou pozdější analýzu průběhu domácí terapie. Původně byla navržena velikost archivu 256 MB. Při testování se toto řešení ukázalo jako nedostatečné. Pokud byl systém používán intenzivně, databáze se zaplnila již po třech týdnech domácí terapie. Doporučená délka terapeutické série je u pacientů po poškození mozku obvykle 4-6 týdnů a je doporučeno s časovým odstupem tuto terapii zopakovat. V případě malého rozsahu databáze by nebylo možné sledovat progres. Proto byla kapacita navýšena na 4 GB, což se v dlouhodobém horizontu ukázalo jako dostatečné.

První verze softwaru pro domácí terapii byla vytvořena pro operační systém Android. V průběhu vývoje a testování došlo k vzniku verze Android 4.4.2, která již neumožňovala připojení plošiny WBB. Pacienti v domácím prostředí často omylem spustili v rozporu s návodem k použití aktualizaci operačního systému a tím znemožnili funkci softwaru. Tablety se starší verzí operačního systému postupně přestaly být dostupné. Z toho důvodu jsme se rozhodli finální verzi softwaru vytvořit pro operační systém Windows, kde je připojení plošiny WBB možné. Jako řídicí jednotka je aktuálně využíván tablet Lenovo Idea Tab Miix300, který má dostatečné parametry pro funkci terapeutického softwaru. V případě, že již nebude tento typ tabletu dostupný, je možné provést změnu v technické složce a ve zdravotnickém prostředku tablet nahradit rovnocennou komponentou s parametry, které zajistí shodnou nebo vyšší bezpečnost a klinickou účinnost zdravotnického prostředku. Vzhledem k tomu, že finální verze systému je certifikovaná jako zdravotnický prostředek třídy I, není nutné v takovém případě podávat žádost o změnu notifikované osobě.

Účel použití zdravotnického prostředku Homebalance MA je terapie poruch rovnováhy u dospělých pacientů s využitím plošiny obsahující tenzometry a vizuální zpětné vazby. V pilotních studiích byl však zdravotnický prostředek testován také u pacientů s vertebrogenním algickým syndromem a u osob vyššího věku bez diagnostikované poruchy rovnováhy. I u těchto probandů došlo ke zrychlení posturální reakce na audiovizuální zpětnou vazbu [17, 47]. Systém Homebalance MA by tedy mohl mít pozitivní efekt také u uživatelů bez diagnostikované poruchy rovnováhy.

Systém Homebalance MA je zdravotnický prostředek třídy I bez měřící funkce a není tedy určen k přesné diagnostice. Pro monitoring průběhu terapie v domácím prostředí je však systém dostatečný, protože je možné díky archivaci výsledků zjistit pravidelnost vykonávaného cvičení. Dále je možné zjistit významné zhoršení v úspěšnosti plnění herních scén, které by mohlo být způsobeno nesprávným vykonáváním cvičení nebo celkovým zhoršením zdravotního stavu pacienta. Detekce zhoršení stavu pacienta může pomoci k zahájení včasné intervence a tím i ke zlepšení celkové prognózy. Informace z monitoringu tak mohou být přínosnou doplňující informací při hodnocení stavu pacienta i při stanovení dalšího terapeutického plánu.

Díky zdravotnické certifikaci a dodržování souvisejících právních předpisů je zajištěna bezpečnost a klinická účinnost systému Homebalance MA. Zdravotnická certifikace usnadnila větší rozšíření Homebalance MA do zdravotnických zařízení. Další výhodou je jednodušší získání souhlasu etických komisí při žádostech o povolení vědeckých studií.

Ověření využitelnosti zdravotnického prostředku v běžné klinické praxi

U pacientů s poruchami rovnováhy v důsledku poškození mozku je mnohdy potřeba dlouhodobý rehabilitační proces. Výsledky diagnostiky se při intraindividuálním hodnocení postupně zlepšují, avšak pro tyto pacienty je často i při splnění vstupních kritérií pro trénink rovnováhy na stabilometrické plošině nemožné dosáhnout stejných výsledků jako u zdravé populace. Výsledek terapie závisí na funkčním potenciálu pacienta, závažnosti nynějšího onemocnění, četnosti terapií i na premorbidním stavu.

Nejen u pacientů, ale také u zdravé populace jsou v rámci Gaussovy distribuce velké interindividuální rozdíly parametrů posturální stability, které závisí na mnoha faktorech, jako například antropometrické parametry nebo fyzická kondice [14]. Vyskytují se také intraindividuální rozdíly při opakovaném měření [15].

Pro získání co nejvíce validních výsledků měření je nutné dodržet vhodný vyšetřovací protokol a podmínky v průběhu měření. Vliv hraje také motivace pacienta. Například při výstupním vyšetření po absolvování terapie může být pacient více motivovaný k dobrému výkonu. Při obtížnějších úkolech, například při stoji se zavřenými očima, může být pacient více soustředěný a díky tomu může mít paradoxně lepší výsledky, než při jednoduchém a nemotivujícím úkolu (např. při stoji s otevřenými očima).

Intrapersonální variabilitu naměřených výsledků jsme pozorovali například v kazuistice pacienta po poškození mozku, který při opakovaném měření stoje dosahoval v průběhu čtyřměsíční intervence různorodých výsledků, které byly ovlivněny jeho proměnlivou kondicí [44]. U pacienta se výsledek měření stoje po 7. a 9. terapii s audiovizuální zpětnou vazbou zhoršil. Na toto zhoršení měla pravděpodobně vliv zvýšená únava po terapii, kterou pacient prováděl s příliš velkým úsilím, které však nebylo pro terapeuta viditelné pouhým pozorováním. V obou případech byl přítomen na žádost pacienta jeho doprovod, který průběh terapie sledoval a pacienta motivoval k vyššímu výkonu. Při hodnocení výsledků měření stoje v průběhu série terapií jsme pozorovali trend zlepšení, avšak například před 2. terapií měl pacient lepší výsledky než před 5. terapií. Důvodem ke zhoršení v den 5. terapie mohla být zvýšená únava po proběhlé ambulantní fyzioterapii, kterou pacient před příchodem do laboratoře absolvoval. Pokud bychom provedli shodou okolností pouze tato dvě měření a při hodnocení výsledků bychom nezohlednili vnější okolnosti, mohli bychom usuzovat, že efekt terapie s audiovizuální zpětnou není udržitelný nebo má dokonce na stabilitu stoje pacienta při opakovaném použití nežádoucí efekt.

Gorliz et al. doporučuje k zajištění test-retest reliability a ke snížení chyby měření 2-5 opakování při každém vyšetření [15]. Takové vyšetření by však pro pacienty se závažnější poruchou rovnováhy mohlo být příliš zatěžující. Pokud by vyšetření absolvovali před terapií, mohli by být příliš unavení pro dokončení vlastní terapeutické intervence, což by mělo negativní vliv na její průběh a efektivitu terapeutického procesu. Je nutné vždy zvolit takovou formu vyšetření, která by pacientovi přinášela větší benefity než rizika. V protokolu pro domácí terapii se systémem Homebalance MA není opakované měření z těchto důvodů zahrnuto.

Při měření stoje bez dohledu terapeuta by mohlo docházet k dalším nežádoucím událostem a měření by mohlo mít nižší vypovídající hodnotu. Při simulaci samostatného domácího monitoringu u 70 zdravých probandů jsme zjistili, že při bezprostředně navazujícím měření stoje s otevřenými očima, stoje se zavřenými

očima a referenční dynamické herní scény Šachovnice dochází ke statisticky významnému zlepšení. Ke změně naměřených parametrů tedy nemusí dojít jen z důvodu objektivního zlepšení posturální stability, ale pouze proto, že uživatel při předchozích měřeních pochopil a natrénoval monitorovací proceduru a naučil se lépe používat obslužný software.

U pacientů s vertebrogenním algickým syndromem jsme po patnáctiminutovém tréninku rovnováhy s audiovizuální zpětnou vazbou detekovali statisticky významné zkrácení času plnění krátké referenční scény Šachovnice, avšak zároveň také statisticky významné zhoršení parametru SP při stoji se zavřenými a s otevřenými očima. Předpokládáme, že ke zlepšení času došlo z důvodu předchozího nácviku stejného typu scény. Zhoršení stability stoje mohlo být způsobeno únavou po patnáctiminutovém cvičení nebo také snížením motivace pacientů z důvodu příliš dlouhého trvání intervence. Intraindividuální změna parametrů stoje při opakovaném monitoringu stoje může být tedy i ve smyslu zhoršení výsledku.

Zlepšení stability běžného stoje po tréninku s využitím tenzometrické plošiny a audiovizuální zpětné vazby jsme v pilotních studiích jednoznačně neprokázali. Zkrácení času potřebného ke splnění referenční scény Šachovnice jsme v pilotních studiích a kazuistikách detekovali u pacientů po poškození mozku [36, 45, 52], u seniorů [17, 49] i u pacientů s vertebrogenním algickým syndromem [47]. Ověřili jsme hypotézu, že po tréninku rovnováhy na tenzometrické plošině s audiovizuální zpětnou vazbou dochází ke snížení času potřebného k adekvátní změně polohy průmětu těžiště na základě audiovizuálních podnětů. Schopnost adekvátní posturální reakce na podněty z vnějšího prostředí je potřebná pro udržení rovnováhy a může pomoci ke snížení rizika pádů, které se s věkem zvyšuje.

Zlepšení výsledků v herních scénách může být dosaženo díky pravidelnému motorickému cvičení při jejich opakovaném tréninku nebo i díky spontánnímu zlepšení rovnováhy v průběhu rekonvalescence, kdy se pacient postupně začíná více zapojovat do aktivit běžného denního života i volnočasových pohybových aktivit a tím trénuje stabilitu ve svém přirozeném prostředí. Snížení četnosti a úspěšnosti domácího cvičení může být naopak známkou snížení motivačního faktoru při plnění stále stejných herních scén, zhoršení psychického stavu pacienta nebo i progresu chronického onemocnění. Díky průběžnému monitoringu domácí terapie je možné v takovém případě včas zahájit odpovídající intervenci a předejít případným komplikacím.

6. Závěr

V této disertační práci je popsán výzkum a experimentální vývoj terapeutického systému Homebalance MA od tvorby návrhu přes zdravotnickou certifikaci po ověření využitelnosti v klinické praxi. Všechny stanovené cíle byly splněny a hypotézy byly ověřeny.

Homebalance MA je zdravotnický prostředek třídy I bez měřicí funkce. Na základě rešerše literatury a vlastního testování zdravotnického prostředku nelze doporučit tento systém pro plně validní klinickou diagnostiku s ohledem na typ certifikace a intraindividuální variabilitu výsledků měření. I přes tuto limitaci může být Homebalance MA v kombinaci se standardizovanými testy nebo dalšími diagnostickými nástroji jedním z doplňkových nástrojů pro monitoring míry poruchy rovnováhy a je pro tento účel využíván v pilotních vědeckých studiích, jejichž výsledky byly publikovány v odborných člancích, na vědeckých konferencích a ve studentských pracích.

Systém Homebalance MA jsme testovali u neurologických pacientů, seniorů, ortopedických pacientů a u pacientů s vertebrogenním algickým syndromem. Oproti podobným zdravotnickým prostředkům je cenově dostupnější a má jednodušší ovládání, které umožňuje samostatné používání systému uživatelem bez zdravotnického vzdělání. Systém je proto využíván v praxi nejen ve zdravotnických zařízeních a na vědeckých pracovištích, ale také u poskytovatelů sociálních služeb, v patientských organizacích i v domácím prostředí pacientů. Umožňuje pacientům každodenní řízenou terapii poruch rovnováhy, která může zefektivnit rehabilitační proces a zvýšit tak kvalitu jejich života.

Seznam zkratek

BBS	Berg Balance Scale
BTK	Bezpečnostně technická kontrola
CoP	Centre of Pressure
SP	Sway path
SPS	Synapsys Posturography System
TUG	Timed, Up and Go Test
VAS	vertebrogenní algický syndrom
WBB	Wii Balance Board

Seznam tabulek

Tabulka 1 Srovnání plošin SPS a WBB

Tabulka 2 Výsledky korelační analýzy

Tabulka 3 Defaultní hodnoty pro produkční test

Tabulka 4 Minimální požadavky na tablet

Tabulka 5 Set tréninkových schémat Šachovnice

Tabulka 6 Seznam pacientů zařazených do studie

Tabulka 7 Referenční meze při opakovaném měření

Seznam obrázků

- Obrázek 1 Stoj na tenzometrické plošině
- Obrázek 2 Schéma zpětné vazby
- Obrázek 3 Vnitřní uspořádání plošiny Nintendo Wii Balance Board
- Obrázek 4 První fáze produkčního testu
- Obrázek 5 Nastavení softwaru WiiMote Tester
- Obrázek 6 Zpětná projekce při tréninku rovnováhy
- Obrázek 7 Tablet s ergonomickým nastavcem
- Obrázek 8 Správný stoj na plošině
- Obrázek 9 Obrazovka s výsledky měření
- Obrázek 10 Scéna Šachovnice pro stereoskopickou projekci
- Obrázek 11 Scéna Místnost
- Obrázek 12 Scéna Náklon tyče
- Obrázek 13 Statokineziogram stoje před 1. terapií
- Obrázek 14 Statokineziogram stoje po 1. terapii
- Obrázek 15 Statokineziogram stoje po poslední terapii
- Obrázek 16 Statokineziogram stoje po poslední terapii
- Obrázek 17 Vývoj stability stoje v průběhu série terapií
- Obrázek 18 Příklad nastavení odezvy v GlovePie
- Obrázek 19 Scéna Park
- Obrázek 20 Scéna Lávka
- Obrázek 21 Scéna Bludiště
- Obrázek 22 Scéna Město
- Obrázek 23 Testovaná scéna Šachovnice
- Obrázek 24 První verze scény Vesmír
- Obrázek 25 Průměrná délka plnění referenční scény

- Obrázek 26 Ukázka porovnání údajů z VLV Lab
- Obrázek 27 Homebalance MA
- Obrázek 28 Uživatelské rozhraní pro nastavení domácí terapie
- Obrázek 29 Ukázka naměřených dat z WBB
- Obrázek 30 Rozhraní pro zamčení do domácího režimu
- Obrázek 31 Scéna Šachovnice
- Obrázek 32 Scéna Vesmír
- Obrázek 33 Správce scén
- Obrázek 34 Editor scény Šachovnice
- Obrázek 35 Editor scény Vesmír
- Obrázek 36 Editor pro nastavení měření stoje
- Obrázek 37 Skupinová terapie pacientů s bolestmi zad
- Obrázek 38 Zkrácení času potřebného ke splnění referenční scény Šachovnice

Citovaná literatura

- [1] PETERKA, R. J. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*, 2002, 88.3: 1097-1118.
- [2] HORAK, Fay B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. *Age and ageing*, 2006, 35.2: 7-11.
- [3] VÉLE, František. *Kineziologie posturálního systému*. 1. vydání. Praha: Karolinum, 1995. 85 s. ISBN 80-7184-100-5.
- [4] VAŘEKA, Ivan. Posturální stabilita (II. část), řízení, zajištění, vývoj, vyšetření. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 2002, 4: 122-129.
- [5] ŠMÍDOVÁ, Jana. Stabilizační proces jako výraz emocí a nálad. *Sestra*, 2010, 11, 33-37.
- [6] HILLMAN, Charles H.; ROSENGREN, Karl S.; SMITH, Darin P. Emotion and motivated behavior: postural adjustments to affective picture viewing. *Biological psychology*, 2004, 66.1: 51-62.
- [7] AZEVEDO, Tatiana M., et al. A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*, 2005, 42.3: 255-260.
- [8] TINETTI, Mary E., et al. Shared risk factors for falls, incontinence, and functional dependence: unifying the approach to geriatric syndromes. *Jama*, 1995, 273.17: 1348-1353.
- [9] BATCHELOR, Frances A., et al. Falls after stroke. *International Journal of Stroke*, 2012, 7.6: 482-490.
- [10] JØRGENSEN, Lone; ENGSTAD, Torgeir; JACOBSEN, Bjarne K. Higher incidence of falls in long-term stroke survivors than in population controls depressive symptoms predict falls after stroke. *Stroke*, 2002, 33.2: 542-547.
- [11] BIGELOW, Kimberly Edginton; BERME, Necip. Development of a protocol for improving the clinical utility of posturography as a fall-risk screening tool. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 2011, 66.2: 228-233.

- [12] ČAKRT, Ondřej; FUNDA, Tomáš; ČERNÝ, Roman; KOLÁŘ, Petr; MUŽÍK, Jan a JERÁBEK, Jaroslav. Diagnosticky specifické nálezy při posturografickém vyšetření – dvě kazuistiky. *Česká a Slovenská neurologie a neurochirurgie: časopis českých a slovenských neurologů a neorochirurgů*. Praha: Nakladatelské a tiskové středisko ČLS JEP, 2012, (1). ISSN 1210-7859.
- [13] SCOPPA, Fabio, et al. Clinical stabilometry standardization: Basic definitions–Acquisition interval–Sampling frequency. *Gait & posture*, 2013, 37.2: 290-292.
- [14] VISSER, Jasper E., et al. The clinical utility of posturography. *Clinical Neurophysiology*, 2008, 119.11: 2424-2436.
- [15] GOLRIZ, Samira, et al. The reliability of a portable clinical force plate used for the assessment of static postural control: repeated measures reliability study. *Chiropractic & manual therapies*, 2012, 20.1: 1-6.
- [16] NAVRÁTIL, L. et al., eds. Robotická rehabilitace v klinické praxi. Prague: Grada Publishing, a.s., 2022. ISBN 978-80-271-0665-3.
- [17] JANATOVÁ, Markéta, et al. Pilotní studie využití tenzometrické plošiny v domácí terapii poruch rovnováhy. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 2016, 591-594.
- [18] WÜEST, Seline, et al. Usability and effects of an exergame-based balance training program. *Games For Health: Research, Development, and Clinical Applications*, 2014, 3.2: 106-114.
- [19] DE ROOIJ, Ilona JM; VAN DE PORT, Ingrid GL; MEIJER, Jan-Willem G. Effect of virtual reality training on balance and gait ability in patients with stroke: systematic review and meta-analysis. *Physical therapy*, 2016, 96.12: 1905-1918.
- [20] JURAS, Grzegorz, et al. Standards of virtual reality application in balance training programs in clinical practice: a systematic review. *Games for Health Journal*, 2019, 8.2: 101-111.
- [21] MOHAMMADI, Roghayeh, et al. Effects of virtual reality compared to conventional therapy on balance poststroke: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2019, 28.7: 1787-1798.

- [22] LAVER, Kate E., et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*, 2017, 11.
- [23] TAYLOR, Matthew JD, et al. Activity Promoting Gaming Systems in Exercise and Rehabilitation. *Journal of rehabilitation research and development*, 2011, 48.10: 1171-1186.
- [24] CHAO, Ying-Yu; SCHERER, Yvonne K.; MONTGOMERY, Carolyn A. Effects of using Nintendo Wii™ exergames in older adults: a review of the literature. *Journal of aging and health*, 2015, 27.3: 379-402.
- [25] BIERYLA, Kathleen A.; DOLD, Neil M. Feasibility of Wii Fit training to improve clinical measures of balance in older adults. *Clin Interv Aging*, 2013, 8.1: 775-81.
- [26] TRIPETTE, Julien, et al. The contribution of Nintendo Wii Fit series in the field of health: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 2017, 5: e3600.
- [27] JALINK, Maarten B., et al. Nintendo related injuries and other problems: review. *BMJ*, 2014, 349: 7267.
- [28] FLEURY, Anthony, et al. Evaluation of a smartphone-based audio-biofeedback system for improving balance in older adults-a pilot study. In: *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2013. p. 1198-1201.
- [29] MIRELMAN, Anat, et al. Audio-biofeedback training for posture and balance in patients with Parkinson's disease. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2011, 8.1: 1.
- [30] SIENKO, Kathleen H., et al. The effect of vibrotactile feedback on postural sway during locomotor activities. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2013, 10.1: 1.
- [31] BADKE, Mary Beth, et al. Tongue-based biofeedback for balance in stroke: results of an 8-week pilot study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2011, 92.9: 1364-1370.
- [32] CHENG, Pao-Tsai, et al. Effects of visual feedback rhythmic weight-shift training on hemiplegic stroke patients. *Clinical rehabilitation*, 2004, 18.7: 747-753.

- [33] CHENG, Pao-Tsai, et al. Symmetrical body-weight distribution training in stroke patients and its effect on fall prevention. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2001, 82.12: 1650-1654.
- [34] GIL-GÓMEZ, José-Antonio, et al. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2011, 8.1: 1.
- [35] BORGHESE, Nunzio Alberto, et al. Computational intelligence and game design for effective at-home stroke rehabilitation. *Games for Health: Research, Development, and Clinical Applications*, 2013, 2.2: 81-88.
- [36] JANATOVÁ, Markéta, et al. Terapie poruch rovnováhy u pacientky po cévní mozkové příhodě s využitím vizuální zpětné vazby a stabilometrické plošiny v domácím prostředí. *Rehabilitácia*. 2015, 52.3: 140-146. ISSN 0375-0922.
- [37] BARTLETT, Harrison L.; TING, Lena H.; BINGHAM, Jeffrey T. Accuracy of force and center of pressure measures of the Wii Balance Board. *Gait & posture*, 2014, 39.1: 224-228.
- [38] CLARK, Ross A., et al. Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: A systematic review. *Gait & posture*, 2018, 61: 40-54.
- [39] BOHUNČÁK, Adam; TICHÁ, Marie; JANATOVÁ, Markéta. Comparative study of two stabilometric platforms for the application in 3D biofeedback system. In ABSTRACTS OF THE 6 TH INTERNATIONAL POSTURE SYMPOSIUM. Bratislava: Institute of Normal and Pathological Physiology, 2011. s. 21. ISBN 978-80-969544-9-0.
- [40] BOHUNČÁK, Adam, et al. Development of interactive rehabilitation devices. *SMART HOMES 20122*, 2012, 29.
- [41] BÍLKOVÁ, Lucie. *Využití virtuální reality ve fyzioterapii*. 2016. Bachelor's Thesis. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.
- [42] HOLUBOVÁ, Anna, et al. Využití digitálních technologií v terapii pacientů po cévní mozkové příhodě. *Listy klinické logopedie*, 2018, 2.2: 32-36.
- [43] JANATOVÁ, M. et al. A Novel Big Data-Enabled Approach, Individualizing and Optimizing Brain DisRer Rehabilitation. In: *Big Data for the Greater Good*.

Wien: Springer, 2019. s. 101-127. ISBN 978-3-319-93060- 2. DOI 10.1007/978-3-319-93061-9_5

- [44] JANATOVÁ, M. et al. Využití Homebalance u pacientů po poškození mozku. In: *Sborník abstrakt z konference Quo vadis rehabilitace? 10. Pfeifferovy dny. REHALB*, 2017.
- [45] JANATOVÁ, M. et al. Možnosti domácí a skupinové terapie s využitím interaktivního systému Homebalance. In: *V. Kladrubské neurorehabilitační interdisciplinární symposium*. Rehabilitační ústav Kladruby, 2018.
- [46] VESELÝ, T. et al. Measuring of the Energy Expenditure during Balance Training Using Wearable Electronics. *Electronics*. 2022, ISSN 2079-9292
- [47] JANATOVÁ, Markéta, et al. System for Game-like Therapy in Balance Issues Using Audiovisual Feedback and Force Platform. *Electronics*, 2022, 11.8: 1179.
- [48] GUEYE, Tereza, DĚDKOVÁ, Miriama. Efekt terapie s telerehabilitačním systémem Homebalance u pacientů časně po CMP. In: *Druhá česká tele-neurorehabilitační konference - Sborník abstrakt. ČESKÁ ASOCIACE ROBOTIKY, TELEMEDICÍNY A KYBERNETIKY, z.s.*, 2021. ISBN 978-80-11-00757-7.
- [49] SAJTAROVA, L., et al. A randomized controlled study of the effect of balance disorder therapy using audiovisual feedback on senior citizens. *CESKA A SLOVENSKA NEUROLOGIE A NEUROCHIRURGIE*, 2020, 83.1: 101-104.
- [50] KAJZAR, Jiří, et al. Performance of Homebalance Test in an Assessment of Standing Balance in Elderly Adults. *Physiological Research*, 2022, 71.2: 305.
- [51] NOVOTNA, Klara, et al. Biofeedback based home balance training can improve balance but not gait in people with multiple sclerosis. *Multiple sclerosis international*, 2019, 2019.
- [52] JANATOVÁ, M.; ŠOLLOVÁ, M.; ŠVESTKOVÁ, O. Telerehabilitace u pacienta s poruchou rovnováhy po cévní mozkové příhodě. *Rehabilitation & Physical Medicine/Rehabilitace a Fyzikální Lekarství*, 2018, 25.1.
- [53] KŘIVKOVÁ, Petra. *Využití přístrojové techniky při diagnostice a terapii poruch stability*. Kladno, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.

- [54] BALOUNOVÁ, Michaela. *Využití technických prostředků v rehabilitaci pacienta s neurodegenerativním onemocněním mozečku*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [55] BAXA, Jan. *Terapie poruch rovnováhy u pacienta po cévní mozkové příhodě*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [56] CHEJNOVSKÁ, Lucie. *Vizuální zpětná vazba v terapii pacientů s poruchou rovnováhy*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [57] BRUŠTÍKOVÁ, Jolana. *Využití tenzometrické plošiny v ambulantní terapii*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [58] SCHOVÁNKOVÁ, Martina. *Využití vizuální zpětné vazby v domácí terapii poruch stability*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [59] ZÍTKOVÁ, Šárka. *Fyzioterapeutické řešení posturální instability u pacientů s roztroušenou sklerózou*. Kladno, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [60] ŠTĚPKOVÁ, Tereza. *Poruchy rovnováhy u pacienta s Parkinsonovou nemocí*. Kladno, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [61] SKALOVÁ, Tereza. *Domácí terapie u pacientů s roztroušenou sklerózou pomocí Homebalance*. Kladno, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [62] TRÁVNÍČKOVÁ, Gabriela. *Poruchy rovnováhy a prevence pádů u pacientů s osteoporózou*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [63] KRAUSOVÁ, Lucie. *Hodnocení stability sedu paraplegiků pomocí přístroje Homebalance*. Kladno, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [64] MACIGOVÁ, Lucie. *Vliv hry na housle na vznik svalových dysbalancí a jejich rehabilitace*. Kladno, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.
- [65] HOLÁ, Irena. *Trénink rovnováhy seniorů s využitím stabilometrické plošiny*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova.
- [66] PROKOPENKOVÁ, Aneta. *Využití stabilometrické plošiny a vizuální zpětné vazby ve fyzioterapii u pacientů po poškození mozku*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova.
- [67] ŘEHÁKOVÁ, Tereza. *Fyzioterapie v domácím prostředí pacienta s využitím stabilometrické plošiny*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova.

- [68] ŠAJTÁROVÁ, Lucie. *Využití systému Homebalance v terapii poruch rovnováhy u seniorů*. Bratislava, 2019. Bakalářská práce. Slovenská zdravotnícka univerzita.
- [69] POKORNÁ, Marie. *Hodnocení stability stoje u neurologických pacientů*. Brno, 2020. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- [70] HRNCSÁR, Samuel. *Hodnotenie stability stoja u pacientov s parkinsonovou chorobou pred a po rehabilitácii s využitím intuitívneho softwaru „Homebalance“*. Brno, 2021. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- [71] GHAFHARROKHI, Majid Mardaniyan, et al. Home-based exercise training in multiple sclerosis: A systematic review with implications for future research. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 2021, 55: 103177.
- [72] DALMAZANE, Marion, et al. Effects on gait and balance of home-based active video game interventions in persons with multiple sclerosis: a systematic review. *Multiple sclerosis and related disorders*, 2021, 51: 102928.
- [73] KARAKAS, Hilal, et al. Technology-Based Rehabilitation in People with Multiple Sclerosis: A Narrative Review. *Journal of Multiple Sclerosis Research*, 2021, 1.3: 54-68.
- [74] TRUIJEN, Steven, et al. Effect of home-based virtual reality training and telerehabilitation on balance in individuals with Parkinson disease, multiple sclerosis, and stroke: a systematic review and meta-analysis. *Neurological Sciences*, 2022, 1-12.