

Sveučilište u Zagrebu
Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet

Diplomski rad

**Virtualna stvarnost u rehabilitaciji motoričkih funkcija gornjih
ekstremiteta**

Marina Bubičić

Zagreb, rujan, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet

Diplomski rad

**Virtualna stvarnost u rehabilitaciji motoričkih funkcija gornjih
ekstremiteta**

Marina Bubičić

Izv. prof. dr. sc. Pinjatela Renata

Zagreb, rujan, 2019.

Izjava o autorstvu rada

Potvrđujem da sam osobno napisala rad *Virtualna stvarnost u rehabilitaciji motoričkih funkcija gornjih ekstremiteta* i da sam njegova autorica.

Svi dijelovi rada, nalazi ili ideje koje su u radu citirane ili se temelje na drugim izvorima jasno su označeni kao takvi te su adekvatno navedeni u popisu literature.

Ime i prezime: Marina Bubičić

Mjesto i datum: Zagreb, 10.09.2019.

Zahvala

Veliko hvala mojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Renati Pinjатели na ukazanom povjerenju, strpljenju, savjetima te toploj i stručnoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Hvala svim profesorima koji su me neprestano motivirali i podsjećali na ljepotu našeg zanimanja.

Najveće hvala mojim prijateljima koji su svojim društvom, podrškom, razumijevanjem, humorom i ljubavlju ispunili moj život srećom.

Posebno hvala mojim pratiocima kroz život: mojim roditeljima, sestri i bratu bez kojih bi sve ovo bilo nemoguće i dečku koji je uz mene u svim trenucima života. Hvala vam na neizmornoj podršci i konstantnoj motivaciji. S vama sve prepreke, usponi i padovi izgledaju i postaju lako savladivi.

Za kraj, neopisivo hvala mojem bratu, jedinstvenoj osobi koja me svojom posebnosti i najiskrenijom ljubavlju potaknula na odabir ovog zanimanja.

Naslov rada: Virtualna stvarnost u rehabilitaciji motoričkih funkcija gornjih ekstremiteta

Ime i prezime studentice: Marina Bubičić

Ime i prezime mentorice: Izv. prof. dr. sc. Renata Pinjatela

Modul na kojem se polaže diplomski rad: Rehabilitacija, sofrologija, kreativne i art/ekspresivne terapije

Sažetak

Virtualna stvarnost (VS) kao relativno nova tehnologija u području rehabilitacije pokazuje velik potencijal za učinkovitu primjenu i pozitivne ishode. Ona omogućuje realistično interaktivno iskustvo komunikacije i manipulacije virtualnom okolinom koje intenzivno utječe na rehabilitaciju funkcionalnih motoričkih vještina. Motoričke sposobnosti mogu biti narušene velikim brojem motoričkih poremećaja, a najčešći su: cerebrovaskularni infarkt/ moždani udar i cerebralna paraliza (CP). Oni predstavljaju oštećenja središnjeg živčanog sustava koja svojom učestalosti narušavaju kvalitetu života mnogih. Osim motoričkih disfunkcija, posljedice ovih oštećenja najčešće uključuju i senzorne deficite, poremećaj koncentracije, umor i zabrinutost, gubitak motivacije i emocionalne probleme. Motoričke sposobnosti i funkcioniranje osoba s invaliditetom, bez obzira na sličnost u dijagnozi ili pojavnom obliku invaliditeta, razlikuju se između pojedinaca. Stoga je važno procijeniti sposobnosti i potrebe osobe te prema tome kreirati individualan program. Virtualna stvarnost sadrži neke osnovne elemente potrebne za uspješnu terapiju, a to su: ponavljanje, povratna informacija o izvedbi/ feedback i motivacija. U ovom radu pružen je prikaz dosadašnjih spoznaja o utjecaju sustava virtualne stvarnosti na motoričko funkcioniranje gornjih ekstremiteta uslijed spomenutih oštećenja. Također se govori o prednostima i izazovima koje pruža VS te o dostupnosti i primjeni ove metode u Republici Hrvatskoj. Ranije studije pokazale su vrlo slabe dokaze o utjecaju virtualne stvarnosti na motoričko funkcioniranje gornjih ekstremiteta, ali su istaknule mogućnost ove metode da održi konstantan interes i motivaciju sudionika. Studije provedene unutar zadnjih nekoliko godina prikazuju učinkovitost virtualne stvarnosti i njen vidljiv utjecaj na rehabilitaciju funkcionalnih motoričkih sposobnosti gornjih ekstremiteta, no nema dokaza o superiornosti učinaka samostalne primjene ove metode naspram ostalih konvencionalnih metoda. Neki podaci pokazuju najuspješnije ishode prilikom primjene ove metode istodobno s radnom ili fizikalnom terapijom.

Ključne riječi: virtualna stvarnost, rehabilitacija, motoričke sposobnosti, gornji ekstremiteti, CP, moždani udar

Paper title: Virtual reality in rehabilitation of upper limb motor functions

Student's full name: Marina Bubičić

Mentor's full name: Renata Pinjatela, PhD

The final exam form is a part of the following program/module: Rehabilitation, Sophrology, Creative and Art/Expressive Therapies

Abstract

Virtual reality (VR) as a relatively new technology in the domain of rehabilitation shows a great potential for affective implementation and positive outcomes. It provides realistic interactive experience of communication and manipulation with virtual environment, which has an intensive effect on rehabilitation of functional motor skills. Motor abilities can be affected by a large number of motor disorders, but the most common ones are: stroke and cerebral palsy. They are central nervous system disorders which, with their frequency, affect quality of life of many people. Besides motor dysfunctions, effects of these impairments often include sensory deficits, concentration problems, fatigue and anxiety, motivation loss and emotional problems. Motor abilities and functioning of people with disabilities are very different between individuals, even if their diagnose or form of disability are similar or the same. Therefore, it is very important to evaluate person's abilities and needs, and according to that, create individual program. Virtual reality has some of the basic elements needed for successful therapy: repetition, feedback and motivation. This paper has provided an overview of existing data on the subject of virtual reality rehabilitation of upper limb motor functions following stroke and CP. There is also some information about the advantages and challenges that virtual reality provides, and about the availability and implementation of this method in the Republic of Croatia. Earlier studies have showed a very weak evidence about effects of virtual reality on upper extremity motor functions, but they highlighted this method's capability to hold a constant interest and motivation of the participant. More recent studies have been showing the effects of VR and it's evident impact on the rehabilitation of functional upper extremity motor abilities, but there is still no evidence about the superiority of VR, when applied alone, to conventional methods. Some data shows most successful outcomes when VR is applied concurrent to occupational and physiotherapy.

Keywords: virtual reality, rehabilitation, motor abilities, upper extremity, CP, stroke

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. VIRTUALNA STVARNOST (VS)	3
1.1.1. Povijest virtualne stvarnosti	4
1.1.2. Virtualna stvarnost u 21. stoljeću	7
1.1.3. Uvjeti za ostvarenje primjene VS	8
1.1.4. Komponente sustava VS	10
1.1.5. Vrste sustava VS	12
1.1.6. Primjena VS	13
1.1.7. Edukacijska, rehabilitacijska i terapijska primjena	14
1.2. MOTORIČKO UČENJE, IZVEDBA I MOTORIČKA KONTROLA	14
1.2.1. Motoričko učenje osoba s invaliditetom	16
1.2.2. Motorički poremećaji	17
1.2.3. Cerebrovaskularni iznult	17
1.2.4. Cerebralna paraliza	18
1.2.5. Metode rehabilitacije motoričkih poremećaja	19
2. PROBLEMSKA PITANJA	20
3. PREGLED DOSADAŠNJIH SPOZNAJA	21
3.1. Prednosti i izazovi primjene VS u rehabilitaciji	21
3.2. Virtualna stvarnost u rehabilitaciji osoba sa cerebralnom paralizom	24
3.3. Virtualna stvarnost u rehabilitaciji osoba sa posljedicama moždanog udara	31
3.4. Virtualna stvarnost u Republici Hrvatskoj	41
4. ZAKLJUČAK	43
LITERATURA	45

1. UVOD

Pojam *virtualne stvarnosti* (VS) prvi uvodi Jaron Lanier kasnih 1980ih, kada je izgradio model računala koji je u mogućnosti prikazati virtualnu okolinu kojom korisnik može manipulirati (Matijević i sur., 2013). Ako govorimo u tehničkim terminima, VS definirali bi kao oblik moderne tehnologije koja pruža imerzivno, interaktivno iskustvo koristeći trodimenzionalne računalno bazirane grafičke slike (UKEssays, 2018). Razvoj virtualne stvarnosti blisko je povezan s tehnološkim napredcima, a njena primjena moguća je u velikom broju različitih domena, kao što su: informatika, zabava, rehabilitacija, medicina te mnoge druge (Matijević i sur., 2013). Virtualna stvarnost u području rehabilitacije predstavlja računalno-generiranu okolinu koja simulira realistično iskustvo za vježbanje funkcionalnih zadataka s većim intenzitetom od onog što nude tradicionalni rehabilitacijski programi (Chen i sur., 2016 prema Ahn i Hwang, 2019). Neke od značajki VS koje su pogodne za rehabilitacijske intervencije te bi mogle imati značajan pozitivan učinak na napredak su: kompletna kontrola nad stimulansom i njegovom konzistencijom, mogućnost izmjene podražaja od jednostavnih do složenih, mogućnost brzog i lakog ocjenjivanja i snimanja napretka osobe, osiguravanje sigurnog okoliša za učenje, kapacitet ponude individualne terapije (ovisno o dijagnozi i potrebama osobe), utjecaj na motivaciju osobe kroz mogućnost uključivanja igre u proces rehabilitacije te mnoge druge (Schultheis i Rizzo, 2001 prema Matijević i sur., 2013).

Proces *motoričkog učenja* ovisi o kognitivnim sposobnostima osobe, dosad stečenom motoričkom iskustvu i voljnim karakteristikama osobe (Barić, 2011 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016). Populacija osoba s invaliditetom vrlo je heterogena te čak i ako osobe imaju isti pojavni oblik invaliditeta njihovo motoričko učenje, funkcioniranje i sposobnosti mogu biti vrlo različiti (Potić, Nedović i Macanović, 2016). Pojam motorički poremećaji predstavlja skupinu poremećaja grube i fine motorike i/ili ravnoteže tijela, koji otežavaju funkcionalno izvođenje svakodnevnih aktivnosti (Horvatić, Joković i Pinjatela., 2009).

Oštećenja središnjeg živčanog sustava često su povezana uz traume i oboljenja te nastaju zbog: cerebrovaskularnog infarkta, intoksikacija, kranio-cerebralnih ozljeda, tumora mozga, infekcija poput encefalitisa ili meningitisa te mogu nastati i kao rezultat disfunkcija u drugim somatskim sustavima (disfunkcija rada bubrega ili pluća, urođene srčane mane). Osobe s ovakvim oštećenjem mogu imati do šest različitih vrsta poremećaja: senzorne deficite,

motoričke deficite, poremećaje koncentracije, umor i zabrinutost, gubitak motivacije i emocionalne probleme (Horvatić i sur., 2009).

Cerebrovaskularni inzult ili moždani udar treći je uzrok smrtnosti u svijetu i vodeći uzrok invaliditeta kod odraslih osoba (Diwan i sur., 2014). Klinički ishodi su različiti, ali većinom uključuju motoričke deficite gornjih ekstremiteta (hemipareza), koje karakterizira slabost, diskoordinacija, smanjena brzina i mobilnost te kognitivna oštećenja u procesiranju informacija i izvršnim funkcijama (Rogers i sur., 2019). Ove disfunkcije utječu na smanjenje sposobnosti samostalne izvedbe svakodnevnih zadataka, što posljedično utječe na smanjenje kvalitete života osobe (Pollock i sur., 2014 prema Cherry i sur.,2018). Navedene posljedice naglašavaju važnost i potrebu za intervencijama koje će utjecati na višestruke domene funkcioniranja. Oporavak funkcionalnih sposobnosti uslijed moždanog udara predstavlja značajan izazov za područje rehabilitacije i terapije, ali bi se mogao riješiti uvođenjem inovacija, odnosno novih tehnologija poput virtualne stvarnosti (Rogers i sur., 2019).

Cerebralna paraliza predstavlja grupu neprogresivnih, ali često promjenjivih motoričkih oštećenja koja su uzrokovana lezijom središnjeg živčanog sustava u ranijim stadijima razvoja(Kuban i Leviton, 1994).Na svakih 2000 novorođenčadi 5 je rođeno s cerebralnom paralizom i to ju čini jednim od najčešćih kongenitalnih problema.Funkcioniranje djeteta pogođeno je različitim neuromišićnim i mišićno- koštanim oštećenjima. Osim motoričkog funkcioniranja, CP utječe i na kognitivne, afektivne i bihevioralne izvedbe (Ravi, Kumar i Singhi, 2017). Osobe su od trenutka dijagnoze podvrgnute različitim re/habilitacijskim programima, a za dobre rezultate jako je važna rana intenzivna stimulacija psihomotorike zbog plastičnosti živčanog sustava (Horvatić i sur., 2009).

Konvencionalne metode rehabilitacije motoričkih funkcija su: fizikalna terapija, radna terapija, bilateralni trening, terapija lijekovima, operativni zahvati i ortopedska pomagala(Weiss, Tirosh i Fehlings, 2014 prema Ravi, Kumar i Singhi, 2017).

Suvremene metode uključuju: trening ruke namijenjen za blagu hemiparezu, terapiju prisilno inducirano pokreta (CIMT), Feldenkraisovu metodu, Masgutovu metodu, interaktivnu robotska terapiju i terapiju baziranu na virtualnoj stvarnosti (Krakauer, 2006).

1.1.VIRTUALNA STVARNOST (VS)

Da bi shvatili što je virtualna stvarnost, prvo moramo razumjeti značenje riječi „virtualno“ i riječi „stvarnost“. Pojam „virtualno“ znači nešto prividno ili umjetno, a „stvarnost“ je stanje stvari koja zaista postoji, odnosno ono što čovjek u svakodnevnom životu iskusi. Stoga termin *virtualna stvarnost* znači *prividna stvarnost* (Virtual Reality Society, 2017).

Mi poznajemo svijet preko naših osjetila i sustava percepcije. Učili smo kako imamo pet osjetila; vid, sluh, okus, njuh i dodir. Ovo su samo naša glavna i najočitija osjetila. Čovjek ima puno više osjetila od navedenih pet. Osim ovih vanjskih, posjedujemo i neka unutarnja osjetila kao što je na primjer; *vestibularno* osjetilo odnosno osjetilo za ravnotežu ili *kinetičko* osjetilo koje nam omogućava da nadziremo napetost mišića, položaj i kretnje ruku čak i kada ih ne vidimo. Ovi senzorni podražaji u kombinaciji s moždanim procesiranjem senzornih informacija nam omogućuju da imamo bogati protok informacija između okoliša i naših umova (Virtual Reality Society, 2017). Sve što znamo o stvarnosti dolazi putem naših osjetila. Drugim riječima, naš cijeli doživljaj i iskustvo stvarnosti je kombinacija senzornih informacija i moždanih mehanizama obrade tih informacija. Stoga stoji; ako bi našim osjetilima prezentirali izmišljene informacije, naša percepcija stvarnosti bi se u odgovoru na te informacije promijenila. Imali bi verziju stvarnosti koja nije zapravo tu, ali je iz naše perspektive viđena kao stvarna. Imali bi *virtualnu stvarnost* (Virtual Reality Society, 2017).

Pojam 'virtualne stvarnosti' počinje 1989. godine koristiti Jaron Lanier, a izvorni smisao njegove definicije je „...međusobno djelovanje u mašti, boravak u grafičkim i auditivnim svjetovima koji su uzajamno ekspresivni“ (Horrocks, 2001 prema Leburic i Sladić, 2004). Kada bismo govorili o virtualnoj stvarnosti u tehničkim terminima, definirali bi ju kao oblik moderne tehnologije koja pruža imerzivno, interaktivno iskustvo koristeći trodimenzionalne računalno bazirane grafičke slike (UKEssays, 2018). U informatičkom svijetu postoje različiti pojmovi kojima se označava virtualna stvarnost kao što su: virtualna okruženja, sintetičko iskustvo, virtualni svjetovi, umjetno stvoreni svjetovi ili umjetno stvorena stvarnost. Svi ovi termini imaju isto značenje unutar mnogobrojnih definicija (Vrhar, 2017).

1.1.1. Povijest virtualne stvarnosti

Ideja o virtualnoj stvarnosti nije toliko nova jer se na prvim konceptima i prototipovima počelo raditi još ranih 1930ih godina. Prvi put je prezentirana 1929. godine kada je inovator i poduzetnik Edwin Albert Link osmislio prvi simulator leta, namijenjen treniranju pilota. Namjera simulatora je bila pripremiti pilote za okolinu letenja prije upravljanja pravim avionom (UKEssays, 2018).

1935. godine pisac Stanley G. Weinbaum objavio je priču „Pygmalion's Spectacles“. U kratkoj priči se javlja ideja o virtualnoj stvarnosti koja se ostvaruje korištenjem posebnih naočala (Hrastovčak, 2016).

1957. došlo je do izuma uređaja pod nazivom „Sensorama“, koji je patentiran 1962. Izumio ga je redatelj Morton Heilig koji ga je opisao kao mehanički uređaj virtualne stvarnosti („A one person theater“) koji je prikazivao trodimenzionalni film u boji u kombinaciji sa zvukovima, mirisima, osjetom vjetra koji je puhao u lice gledatelja i osjećajem kretanja. Nažalost Sensorama nije imala komercijalni uspjeh. (Brockwell, 2016).

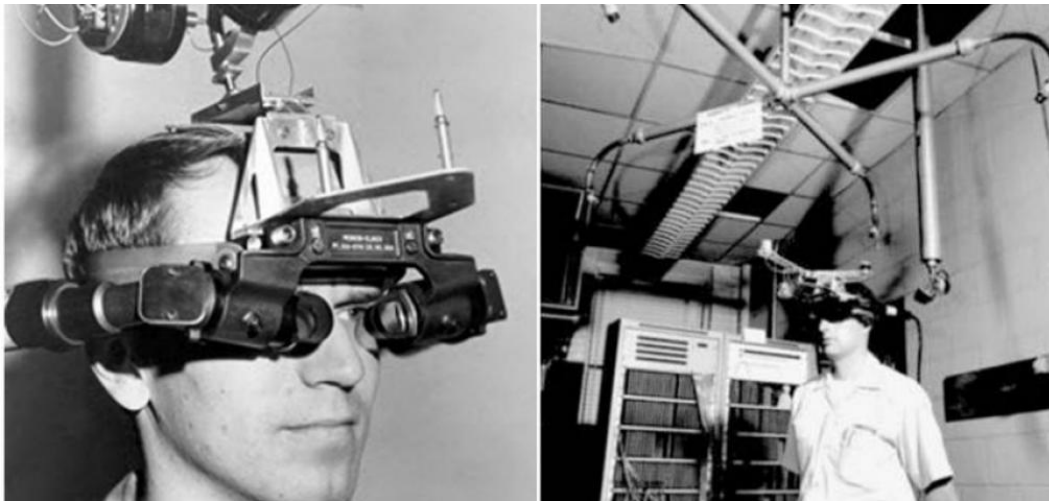


Slika 1 Sensorama uređaj

1961. godine razvijen je prvi naglavni, odnosno HDM (head mounted display) uređaj nazvan „The Headsight“. Razvili su ga dvojica inženjera Comeau i Bryan koji su radili za tvrtku

Philco Corp. Televizijski ustav kojeg su razvili sastojao se od daljinskog upravljača i HMD uređaja u obliku kacige. Unutar kacige bio je ugrađen ekran i sustav za praćenje pokreta koji je trebalo povezati s nekim video sustavom (TV uređajem) kako bi se mogao gledati sadržaj s TV ekrana na ekranu HDM uređaja (Boas, 2012)

Pionirom virtualne stvarnosti smatra se Ivan Sutherland koji je 1968. godine kreirao naglavni uređaj za virtualnu stvarnost pod nazivom „Damoklov mač“. Naziv je proizašao iz njegovog neobičnog izgleda. Konstrukcija sustava sadržavala je interaktivnu grafiku, zvuk, miris, okus, povratnu reakciju sustava te je sustav podržavao stereo prikaz koji se ažurirao s obzirom na promjene pozicije i smjera glave korisnika. Uređaj je u to vrijeme mogao prikazivati samo jednostavnu računalnu grafiku. Sutherlandov rad inspirirao je mnoge te je pružio temelje za daljnji razvoj virtualne stvarnosti (Vrhar, 2017).



Slika 2 Domoklov mač

Tako je 1971. godine razvijen „GROPE“; uređaj koji se koristio za prikaz strukture molekule. Brooks je razvio tri prototipa ovog uređaja: Grope I, Grope II i Grope III (ARM- Argonne Remote Manipulator). Uređaj je korišten za testiranje molekule lijekova. Istraživač bi u virtualnoj okolini uzeo molekulu lijeka i pokušao je staviti na receptor. Receptor koji odgovara molekuli lijeka privukao bi ju, a onaj koji ne odgovara odbacio (Vrhar, 2017).

Četiri godine nakon, Myron Krueger uvodi pojam „umjetna stvarnost“. Uvodi sustav pod nazivom „Videoplace“ koji radi tako da se korisnik snimi pomoću video kamere i slika njegovog tijela bude prikazana na računalu. Računalo neprestano analizira sliku korisnika koja je prikazana na njemu. Korisnik se pomiče te se pomiče i njegova grafička slika na računalu, a kada njegov grafički prikaz dotakne grafičke objekte taj objekt se može

pomaknuti, eksplodirati, zalijepiti se za prst korisnika ili uzrokovati da korisnikova slika tada nestane s ekrana. Također je moguća manipulacija korisnikovom slikom na ekranu (Vrhar, 2017).

1977. godine, NASA je u laboratoriju u Kaliforniji razvila prve svjetlovodne umrežene rukavice nazvane „Sayre Glove“.

1978. znanstvenici na MIT-u razvili su sustav za upravljanje prostornim podacima uz pomoć tehnologije video-diska. To je zapravo bila interaktivna mapa grada Aspena koja se zvala „Aspen Movie Map“. Korisnici su mogli doživjeti interaktivno iskustvo vožnje kroz grad (Vrhar, 2017).

1985. godine, došlo je do inicijative „ Super-Cockpit“ koja je rezultirala razvojem napredne pilotske kabine. Piloti su samo uz pomoć glave, očiju i ruku mogli upravljati letjelicom i letjeti velikom brzinom (Vrhar, 2017). Također, iste godine tvrtka VPL uvodi DataGlove rukavicu koja je prvi javno dostupni model HMD-a. Rukavicu je razvio Jaron Lanier koji je također prvi uveo pojam „virtualne stvarnosti“ (Bezić, 2017). On je virtualnu stvarnost definirao kao : „ Računalno stvorena, interaktivna, trodimenzionalna okolina u koju korisnik uranja!“. Lanier je kao stručnjak za informacijsku tehnologiju prvi izgradio model računala koji može prikazati virtualnu okolinu kojom korisnik može manipulirati (Matijević i sur., 2013).



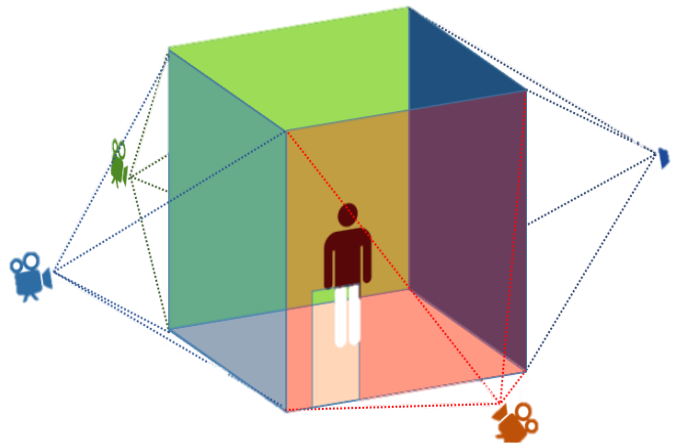
Slika 3 HDM i DataGlove

Nakon toga kasnih 1980- ih godina, šira javnost počinje se interesirati za područje virtualne stvarnosti. Fake Space Labs razvio je 1989. godine uređaj „BOOM“ (Binocular Omni-

Orientation Monitor). To je bila mala kutija u kojoj se nalazi ekran kroz koji korisnik može gledati te koristeći mehaničku ruku mijenjati smjer i poziciju kutije (Vrhar, 2017). Zatim, 1992. godine kreirana je virtualna soba pod nazivom „CAVE“ od strane tvrtke EVL. Korisnik umjesto HDM uređaja na glavi ima postavljene LCD naočale koje imaju senzor lokacije korisnika te su usklađene s projektiranim grafičkim slikama. S obzirom na lokaciju korisnika, sustav virtualne stvarnosti mijenja prikaz slika i tako postiže potpunu imerziju sustava (Vrhar, 2017).



Slika 4 BOOM uređaj



Slika 5 CAVE

1.1.2. Virtualna stvarnost u 21. stoljeću

2013. godine Palmer Lucky, koji je tada imao devetnaest godina, razvio je svoju prvu verziju VS headseta. Ta verzija je bila dosta nezgrapna, s osnovnom grafikom, ali je iskustvo bilo

vrlo realno. Nakon toga je pokrenuo Kickstarter kampanju, prikupio oko 2 milijuna dolara i krenuo s proizvodnjom. U Suradnji s Johnom Carmackom stvoren je „Oculus Rift“ Development Kit 1. Početkom 2014. godine Facebook je prepoznao potencijal ove tehnologije te je kupio Oculus za 2 milijarde dolara (Sigur, 2014).



Slika 6 Oculus Rift

1.1.3. Uvjeti za ostvarenje primjene VS

Sastavnice koje su uključene u uspješno korištenje virtualne stvarnosti su: **korisnički unos** i **povratna informacija** (vizualna percepcija, percepcija zvuka, percepcija sile, dodir i pozicija te percepcija mirisa). Korisnički unos predstavlja podatke koje korisnik emitira i tako vrši interakciju s okolinom. Interakcija se izvodi pokretima i manipulacijom, a komunikacija glasom, gestama i izrazima lica (Balaguer i Mangili, 1991). Povratna informacija označava naša osjetila koja su simulirana u svijetu virtualne stvarnosti (Carr i England, 1995).

Najbitnije osjetilo u percipiranju virtualne stvarnosti je **vid**. Većina informacija koje se procesiraju u mozgu dolaze vizualnim podražajima. Glavni aspekti vida koji utječu na ukupnu kvalitetu vizualnog dojma su : *percepcija dubine, kut vizualne prostorne pokrivenosti i kritična frekvencija stapanja slike.*

Do *percepcije dubine* dolazi pojavom stereoskopskog vida, koji je bitan mehanizam virtualne stvarnosti (Jurjević, 2017). Prosječni razmak između ljudskih očiju iznosi između 6 i 8 cm i s obzirom na taj razmak, svako oko vidi malo drugačiju sliku. U mozgu dolazi do stapanja te dvije slike, što izaziva osjećaj dubine (Bezić, 2017).

Sljedeći aspekt koji utječe na vizualni dojam je *kut vizualne pokrivenosti*. Ako ne pomičemo oči i glavu, naša ukupna horizontalna prostorna pokrivenost vida za oba oka iznosi oko 180 °. Pomicanjem samo očiju, pokrivenost se širi na 270°, a vertikalna pokrivenost iznosi 120 °. Da

bi osoba imala potpuno iskustvo virtualne stvarnosti, dovoljno je horizontalnu pokrivenost ispuniti 110 °.

Zadnji bitan aspekt vida je *kritična frekvencija stapanja slike*. To je frekvencija izmjene slika pri kojoj ljudsko oko ne može raspoznati statične slike. Iluzija animacije ostvaruje se brzim izmjenjivanjem statičnih slika. Ova frekvencija izmjene slika proporcionalna je osvjetljenju i veličini područja pokrivenog mrežnicom (Kosslyn, 1994).

Percepciju zvuka koristimo za verbalnu komunikaciju onda kada nam oči ne pružaju dovoljno informacija. Naš slušni organ je u najboljoj funkciji između 1000 i 4000 Hz te dolazi do pada efikasnosti ako prijeđe ove granice. Prostorna orijentacija ovisi o udaljenosti između ušiju i izvora zvuka (Youngblut i sur., 1996 prema Jurjević, 2017). S obzirom na svojstva percepcije zvuka, moguće je razvoj 3D sustava koji posjeduju svojstva kao što su: simulacija Dopplerovog pomaka dok objekt putuje pokraj slušatelja, kontrola kontinuiranih zvukova, mogućnost ultrazvučnog mapiranja prostorije i druga (Jurjević, 2017).

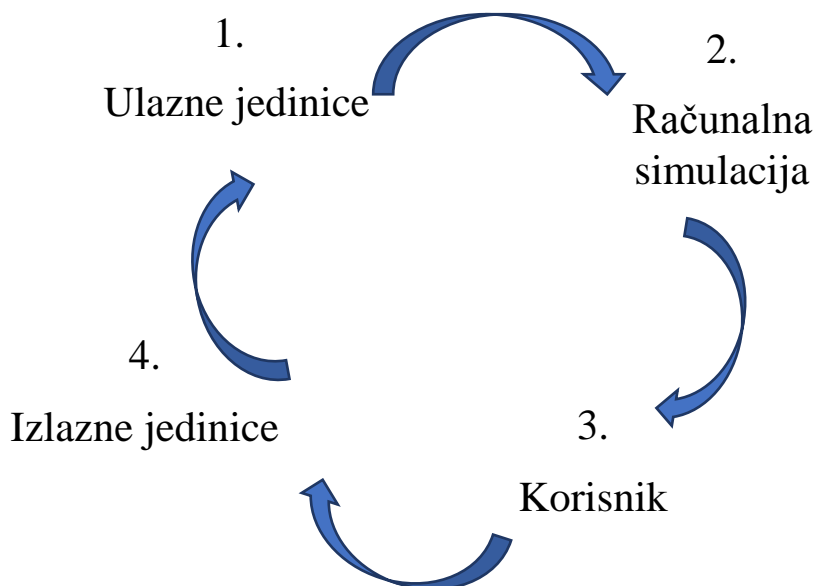
Dodir je neizostavan dio ljudskih aktivnosti jer njime, osim što osjećamo događanja u okolini, možemo i utjecati na nju. Zbog toga bi virtualna stvarnost trebala omogućiti ulazne signale i zrcaliti izlazne. Primarne ulazno/izlazne varijable osjetila dodira su deformacije i sile. Ulazne informacije dijelimo na dodirne i kinestetičke. Dodirne informacije su one o obliku i teksturi objekta, koje dobijemo tijekom prvotnog obuhvaćanja nekog objekta. Kinestetičke informacije dolaze s primjenom veće sile na objekt. To su informacije o poziciji i pokretu šake i ruke te sile koje djeluju na njih, a također informacije o površinskoj popustljivosti i težini. Da bi došlo do bilo kakve manipulacije objektom, motori koji vrše silu na objekt moraju dobiti naredbu od sustava. Dva glavna aspekta manipulacije silom koja utječu na korištenje virtualne stvarnosti su maksimalna veličina sile i frekvencija povratne informacije. Važan dio virtualne stvarnosti je i osjet ravnoteže, odnosno orijentacije za kojeg su zadušeni vizualni i vestibularni sustav (Jurjević, 2017).

S obzirom na to da su mnoga pitanja o funkcioniranju **percepcije mirisa** još uvijek neodgovorena, postoje problemi oko njegove simulacije. Poznato nam je da receptorski neuroni hvataju molekule koje prenosi mirise, no još uvijek ne znamo na koji način mozak generira uzorke za prepoznavanje pri čemu izolira određene mirise od drugih i rekonstruira ono što nedostaje. S obzirom na to da je ljudska sposobnost detekcije mirisa vrlo osjetljiva te je lakše prepoznati porast koncentracije mirisa nego njezin pad, uređaj virtualne stvarnosti koji bi pružao osjet mirisa morao bi također pružiti i mogućnost filtriranja zraka (Zellner, Bartoli i Eckard, 1991).

1.1.4. Komponente sustava VS

Virtualna stvarnost sastoji se od četiri osnovna elementa, a to su : (1) Virtualni svijet, (2) Imerzija, (3) Senzorni feedback (povratna informacija), (4) Interaktivnost .*Virtualni svijet* opisuje skupinu objekata u prostoru te pravila i veze koje upravljaju tim objektima. U sustavu virtualne stvarnosti, virtualni svijet je generiran računalom. *Imerzija* predstavlja senzaciju prisutnosti u okolišu, za razliku od promatranja izvana. *Senzorni feedback* je selektivna mjera senzornih podataka o okolišu bazirana na korisnikovom ulaganju. Akcija i pozicija korisnika pružaju perspektivu realnosti i određuje koji će senzorni feedback biti pružen. *Interaktivnost* označava odgovor virtualnog svijeta na akcije korisnika. Ona pruža mogućnost navigacije virtualnim svijetom i interakciju s objektima, likovima i mjestima (Brey, 2008).

Sustav VS dijeli se na dva velika podsustava, a to su **hardver** i **softver**. Zadnja važna komponenta potrebna za primjenu ostvarivanje interakcije s virtualnom stvarnosti je korisnik (Vrhar, 2017). Hardver se dijeli na računalo ili središnju procesnu jedinicu sustava virtualne stvarnosti te ulazne i izlazne uređaje, a softver na sistemski softver (baza podataka) i aplikativni softver (Bamodu i Ye, 2013).



Slika 7 Osnovna petlja principa rada VS

Kao što je prethodno spomenuto, velike komponente **hardvera** su: *ulazni uređaji, izlazni uređaji i računalni sustav.*

Ulazni uređaji su sredstva pomoću kojih korisnik vrši interakciju s virtualnim svijetom. Oni pomoću senzora bilježe radnje korisnika i šalju te signale sustavu (najčešće računalo), kako bi mogli pružiti pravilnu reakciju natrag kroz izlazne uređaje. Postoje mnogi ulazni uređaji koji su već dugo u upotrebi kao što su na primjer kompjuterski miš i tipkovnica, ali razvijeni su i neki novi. Njih možemo podijeliti na: (1) senzori položaja i orijentacije (eng. *Trackers*), (2) senzori sile i momenta sile (3) senzori položaja tijela i ruku (Kralj, 2010). *Senzori položaja i orijentacije* koriste se za praćenje položaja korisnika. Minimalna količina informacija koja je potrebna za ostvarenje praćenja su položaj i orijentacija korisnikove glave, koji su potrebni za renderiranje slika. Moguće je dodatno pratiti i ostale dijelove tijela kao što su ruke, prsa ili noge (Onyesolu i Eze, 2011). S obzirom na tehnologiju koju koriste, ulazni uređaji za praćenje mogu biti: magnetski, optički, mehanički i akustički (ultrazvučni) (Pandžić i sur., 2011). *Senzori sile i momenta sile* poprilično su intuitivni uređaji koji mjere količinu sile koju korisnik vrši na uređaj. *Senzori položaja tijela* predstavljaju skup većeg broja senzora položaja koji se nalaze u odijelu ili rukavicama te prikazuju svaki pokret korisnika. Najpoznatiji uređaji za vizualizaciju virtualne okoline su naglavni uređaji (eng. *Head Mounted Display, HMD*) unutar kojih su najčešće montirani senzori položaja i orijentacije koji omogućuju promjenu smjera pogleda u virtualnom okruženju (Kralj, 2010). VS rukavice reagiraju na pokret, lokaciju i orijentaciju ruke korisnika. One imaju dva zadatka, a to su: izračunavanje pozicije ruke korisnika i određivanje orijentacije prstiju. Trenutno najpopularnije rukavice iz svijeta virtualne stvarnosti su: VRfree, Hi5, Vrgluf, BreqLabs ExoGlove, Senso, Dexmo, Haptx, Oculus Rift i Avatar VR (Morgan, 2019).

Izlazni uređaji primaju povratnu informaciju od središnje procesne jedinice te ju prenose do korisnika preko odgovarajućih izlaznih uređaja za simulaciju osjetila. Osnovna klasifikacija ovih uređaja, bazirana na osjetilima, je: grafički (vizualni), audio, haptički (kontakt ili sila), miris i okus. Prve tri vrste izlaznih uređaja se često koriste u virtualnim sustavima, dok su miris i okus manje zastupljeni (Bamodu i Ye, 2013). *Grafički (vizualni) prikaz* je najrazvijeniji i najkorišteniji. Vrlo je bitno da je kvaliteta slika što bolja, idealno da prikaz ima visoku rezoluciju slike, brzu promjenu slika, široko vidno polje, visoku svjetlinu i kontrast (McKenna i Zeltzer, 1992). Najčešće korištene tehnologije za grafički prikaz su: CRT (*Cathode Ray Tube*) i LCD (*Liquid Crystal Diode*) (Onyesolu i Eze, 2011). Najkorišteniji vizualni izlazni uređaji su: 3D naočale, stereo zaslone i uređaji koji pružaju vizualni prikaz kao u CAVE

okruženju, BOOM (*Bonicular Omni Oriented Monitors*) i HMD (*Head Mounted Displays*) (Novák-Marcinčin, 2010). *Audio sustavi* predstavljaju uređaje koji kreiraju 3D zvukove. Neke od značajka koje audio sustavi mogu imati su : prijenos zvukova koji se mijenjaju dok prolaze pokraj slušaoca, mogućnost akustičnog snimanja sobe i okoline i kontrola refleksije zvuka (Gobbetti i Scateni, n.d.). Zvučni izlazni uređaji su uglavnom zvučnici i slušalice (Vrhar, 2017). Haptički sustavi su oni koji se koriste za simulaciju dodira i sile. Koristeći ih, osoba ima osjećaj kao da stvarno dodiruje objekt u virtualnom svijetu. Razlikujemo haptičke sustave koji simuliraju dodir, koji simuliraju silu i one koji su kombinacija navedenog (Vince, 1998).

Središnja procesna jedinica sustava VS je zapravo računalni sistem. Odabir kompjuterskog sistema ovisi o vrsti aplikacije, korisniku, ulaznim i izlaznim uređajima, razini imerzije i potrebnom grafičkom prikazu. On je odgovoran za računanje i generiranje grafičkih modela, polaganje objekta, osvjetljenje, mapiranje, stvaranje teksture, simuliranje i prikaz u stvarnom vremenu. Također održava interakciju s korisnicima i služi kao sučelje za ulazno/izlazne uređaje. Tijekom biranja kompjuterskog sistema vrlo je važno uzeti u obzir jačinu procesora računala (Burdea i Coiffet, 1995).

Softver sustava virtualne stvarnosti je skupina alata za dizajniranje, razvijanje i održavanje virtualne okoline i baze podataka u kojima su pohranjene informacije (Bamodu i Ye, 2013).

1.1.5. Vrste sustava VS

Virtualnu stvarnost možemo klasificirati u tri velike kategorije s obzirom na razinu imerzije, a to su: 1) imerzivni sustavi, 2) ne-imerzivni sustavi i 3) polu-imerzivni sustavi (Daghestani, 2013 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017).

Da bi shvatili upotrebu ovih sustava, moramo prvo razumjeti značenje pojma „imerzija“. „*Imerzija* predstavlja pojam koji opisuje objektivni stupanj vjerodostojnosti senzornih informacija koje sustav virtualne stvarnosti pruža korisniku“ (Slater, 2003 prema Vrhar, 2017, str. 18).

Imerzivni sustav virtualne stvarnosti obuzme auditivnu i vizualnu percepciju korisnika u virtualnom svijetu te izolira sve vanjske informacije kako bi iskustvo bilo potpuno imerzivno (Daghestani, 2013 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017). On uključuje uređaje kao što su HMD uređaji, rukavice VS, uređaji za praćenje pozicije i orijentacije, audio uređaje i druge. Ovaj sustav daje korisniku osjećaj kao da se on stvarno nalazi u virtualnom svijetu

(McLellan, 2001 prema Vrhar, 2017). Jedan od primjera potpuno imerzivne tehnologije je već spomenuti CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) (Cox, 2003 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017).

Ne-imerzivni sustav se često naziva i *desktop virtualna stvarnost* te je baziran na ekranima koji su prozor i ulaz u virtualnu stvarnost s obzirom na to da nema dodatnih uređaja kao što je primjerice HMD (Earnshaw, Chilton i Palmer, 1997 prema Sala, 2006 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017). To je sustav koji ne posjeduje nikakav ili vrlo nizak stupanj imerzije. Korisnik računala vidi virtualno okruženje na ekranu te ima interakciju s njim, ali nema osjećaj kao da se stvarno tamo nalazi, odnosno ne postoji imerzija (Isdale, 1993 prema Vrhar, 2017). Najkorišteniji sustav virtualne stvarnosti je desktop sustav koji se sastoji od standardnog kompjuterskog monitora koji prikazuje virtualni svijet (Cox, 2003 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017) . Ovaj tip sustava virtualne stvarnosti je najjeftiniji s obzirom na to da ima najjednostavnije komponente te se najviše koristi u edukaciji (Bamodu, 2013 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017).

Polu-imerzivni sustav je unaprijeđena verzija ne-imerzivnog sustava. On ima jednostavnost ne-imerzivnog sustava, ali ima veći stupanj imerzije te koristi neke dodatne uređaje kao što su VS rukavice ili VS naočale (Blackedge, Barret i Coyle, 2010 prema Bamodu i Ye, 2013 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017). Sustav se sastoji od virtualne stvarnosti i atributa stvarnog svijeta. Korisnik ulazi u sustav i kontrolira ga preko ulaznih uređaja kao što su miš, tipkovnica, VS naočale, joystick i slični (Christou, 2010 prema Daghestani, 2013 prema Alqahtani, Daghestani i Ibrahim, 2017).

1.1.6. Primjena VS

Virtualna domena nudi pouzdanost, brzinu, lakoću pristupa, kompaktnost i sigurnost te se lako može prenijeti u druge virtualne domene, na primjer na računala koja se nalaze na udaljenim dijelovima svijeta (Vince, 1995 prema Vafadar, 2013). S obzirom na to, tehnologija virtualne stvarnosti vrlo je obećavajuća tehnologija primjenjiva u raznim područjima ljudskog života. Neka od područja primjene su: proizvodnja, obuka u raznim područjima (vojska, medicina, rad opreme), obrazovanje, simulacija, evaluacija dizajna (virtualno prototipiranje), virtualna šetnja kroz arhitektonske građevine, terapijske svrhe (liječenje fobija, pomoć osobama s invaliditetom), zabava, rekonstrukcija arheoloških

nalazišta, kreiranje 3D glazbenih video sadržaja i mnoge druge (Oneysolu, 2006 prema Oneysolu i Eze, 2011).

1.1.7. Edukacijska, rehabilitacijska i terapijska primjena

Unutar područja motoričke rehabilitacije, virtualna stvarnost nudi relativno dostupna rehabilitacijska okruženja i na taj način omogućuje učinkovitu inkluziju ponavljanja vježbe, evaluaciju učinaka i motivaciju za povećanje broja ponavljanih vježbi. Koristi se u rehabilitaciji pacijenata nakon moždanog udara i onih s ozljedama mozga, djece s cerebralnom paralizom, u ortopedskoj rehabilitaciji pacijenata s Parkinsonovom bolesti, u vježbama ravnoteže i vježbama svakodnevnih aktivnosti (Holden, 2005 prema Matijević i sur., 2013).

1.2.MOTORIČKO UČENJE, IZVEDBA I MOTORIČKA KONTROLA

Usvajanje novih motoričkih iskustava u ranoj dječjoj dobi izuzetno je bitan čimbenik rasta i razvoja djeteta, odnosno progresije njegovih vještina i sposobnosti. Razina usvojenosti motoričkih vještina uvelike utječe na ponašanje djeteta u situacijama počevši od prvih refleksnih pokreta pa sve do svladavanja i usvajanja složenih motoričkih gibanja. Svakom stjecanju određenih motoričkih vještina prethodi proces motoričkog učenja (Lorger, 2014).

Kako bi mogli definirati motoričko učenje, ključno je razlikovati pojmove *motorička izvedba* i *motoričko učenje*. *Motoričko izvođenje* je kvalitativno i kvantitativno izvođenje nekog smislenog pokreta koje se može promatrati, analizirati i vrednovati (Edwards, 2010 prema Barać, 2015). Horga (1993.), prema Lorger (2014.), ukazuje da je *motoričko učenje* ili vježbanje proces formiranja motoričke vještine koju je moguće definirati kao sposobnost skladnog izvođenja nekog motoričkog zadatka. Kosinac (1999) motorikom naziva učenje o kretanju i napominje da je pokret psihička akcija pod utjecajem senzornih podražaja, unutrašnje akcije središnjeg živčanog sustava i reakcije aparata za kretanje – vanjska kretanja koja je vidljiva. Međutim, motoričko učenje je najbolje sagledati kao spoj motoričke adaptacije, stjecanja vještine te donošenje odluka, odnosno, mogućnosti izbora prikladnog

pokreta unutar konteksta (Shadmehr, 2005 prema Krakauer, 2006). *Motorička kontrola* označava način na koji naš neuromuskulturni sustav funkcionira kako bi koordinirao mišiće i udove uključene u izvedbu motoričke vještine. U osnovi, dolazi do integracije senzornih podražaja koje primamo iz naše okoline i informacija o trenutnom stanju organizma kako bi se aktivirala odgovarajuća grupa mišića i zglobova te ostvario određeni pokret ili motorička izvedba. Ovaj proces zahtjeva kooperativnu interakciju između središnjeg živčanog sustava i lokomotornog sustava. Uspješno razvijena motorička kontrola ključna je za interakciju sa svijetom, određuje sposobnost izvedbe te regulira stabilnost i ravnotežu (Schmidt, 1999 prema Krakauer, 2006).

Motoričko učenje, osim što zahtjeva tjelesni angažman je i intelektualni zadatak i uvelike ovisi o nizu procesa obrade informacija u središnjem živčanom sustavu (Starc i sur, 2005 prema Lorger, 2014). Učenje svladavanja preciznih pokreta koji zahtijevaju uporabu „fine motorike“ zahtjeva visoku razinu kognitivnih potencijala. Također i učenje aktivnosti zahtjeva istodobni angažman većeg broja motoričkih sposobnosti što može uvelike opteretiti živčani sustav. Takav umoran živčani sustav dovodi do veće razine uzbuđenja, neraspoloženja te gubitna pažnje, a sve su to mogući ometajući faktori za uspješan tijek motoričkog učenja (Lorger, 2014).

Vježbanjem određene motoričke aktivnosti razvija se motorički program - zapis u motoričkom pamćenju koji sadrži podatke o strukturi, redoslijedu i trajanju izvođenja pokreta i omogućuje procesiranje informacija za vrijeme izvođenja zadatka. Reprezentacija motoričkog zadatka u pamćenju formira se različito, ovisno o izvoru i količini informacija koje osoba dobiva u fazi učenja te ovisno o općoj kognitivnoj sposobnosti osobe i vrsti dodatnih informacija koje pomažu kodiranju cjelokupne strukture pokreta u pamćenju (Lavise, Deviterne i Perrin, 2000 prema Barić, 2006). Kako je već spomenuto proces motoričkog učenja traje dugo vremena. Kad se u motoričkoj aktivnosti “poslože” svi njeni dijelovi, motoričko znanje je u završnom stupnju razvoja (Šalaj, 2014 prema Lorger 2014), a kada je određeni pokret usvojen do razine motoričke vještine tada je došlo do automatizacije pokreta čime je proces učenja uglavnom završen (Barić, 2011 prema Lorger 2014).

Osoba se u različitim fazama stjecanja motoričke vještine fokusira na različite aspekte učenja. Posljedica toga je varijabilno motoričko izvođenje, nedosljedna dominacija grešaka, različita usmjerenost pažnje na određene aspekte motoričkog zadatka i raznolike strategije učenja (Schmidt i Wrisberg, 2000 prema Thomas, Gallaher i Thomas, 2001 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016). Ove spoznaje su bitne za teoriju i praksu područja edukacije i

rehabilitacije te mogu biti značajne za razumijevanje motoričkog ponašanja osoba s invaliditetom. Također pomažu u odabiru adekvatnih metoda za rad s ovom populacijom, kao i za unaprjeđenje postojećih rehabilitacijskih metoda za područje motoričkoga učenja (Barić, 2011 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016).

1.2.1. Motoričko učenje osoba s invaliditetom

Proces motoričkog učenja ovisi o kognitivnim sposobnostima osobe, dosad stečenom motoričkom iskustvu i voljnim karakteristikama osobe (Barić, 2011 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016). Motoričko učenje osoba s invaliditetom poseban je izazov unutar područja edukacije i rehabilitacije jer je populacija osoba s invaliditetom vrlo heterogena te često imaju intelektualne, motoričke, kognitivne i senzorne teškoće. Čak i kad osobe imaju isti pojavni oblik invaliditeta, njihovo funkcioniranje i sposobnosti vrlo su različiti (Potić, Nedović i Macanović, 2016).

Podaci iz literature ukazuju na to da je za motoričko učenje karakteristično da: kvaliteta izvođenja pokreta raste s povećanjem broja ponavljanja tog pokreta; ostvarena kvaliteta izvođenja traje duži vremenski period tijekom kojeg izostaje izvođenje; dolazi do smanjenja svjesne kontrole izvođenja motoričke akcije, smanjuje varijabilnost u izvođenju pokreta tijekom motoričkog učenja; postoji sposobnost uviđanja i ispravljanja grešaka tijekom izvođenja motoričke akcije te da se razvija kapacitet za prenošenje, odnosno generaliziranje usvojenih motoričkih znanja i vještina. Literatura usmjerava na važnost i pozitivne učinke koncepta motoričkog učenja za rehabilitaciju odraslih osoba s invaliditetom, kao i djece s teškoćama u razvoju (Potić, Đorđević, & Banković, 2013 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016). Neki autori, kao značajne prediktore uspješnog motoričkog funkcioniranja, navode: doživljaj tjelesne cjelovitosti i lateralnost, perceptivne mehanizme kao ulazne kanale za višu kognitivnu obradu, zatim procese mišljenja i pamćenja. Oni naglašavaju da nedostaci u području kognitivnog funkcioniranja dovode do problema u motoričkom učenju (Николић, Иланковић, & Илић-Стошовић, 2005 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016). Ako govorimo o djeci s cerebralnom paralizom, pokazalo se da je njihovo motoričko učenje otežano, usporeno ili nepostojano zbog nemogućnosti adekvatne identifikacije greške tijekom

izvođenja pokreta i kontrole mišićne interferencije (Rapaić & Nedović, 2011 prema Potić, Nedović i Macanović, 2016).

1.2.2. Motorički poremećaji

Pojam motorički poremećaji predstavlja skupinu poremećaja grube i fine motorike i/ili ravnoteže tijela, koji otežavaju funkcionalno izvođenje svakodnevnih aktivnosti. Oni označavaju ispodprosječno tjelesno funkcioniranje različite fenomenologije i etiologije. Razlikujemo četiri osnovne skupine unutar kojih etiološke faktore motoričkih poremećaja možemo podijeliti, a to su: oštećenja lokomotornog sustava, oštećenja središnjeg živčanog sustava, oštećenja perifernog živčanog sustava te ona nastala kao posljedica kroničnih somatskih oštećenja ili kroničnih bolesti drugih sustava (Horvatić, Joković i Pinjatela., 2009).

Oštećenja središnjeg živčanog sustava često su povezana s traumama i oboljenjima te nastaju zbog: cerebrovaskularnog infarkta, intoksikacije, kranio-cerebralnih ozljeda, tumora mozga, infekcija (encefalitis, meningitis), a mogu nastati i kao rezultat disfunkcija u drugim somatskim sustavima (disfunkcija rada bubrega ili pluća, urođene srčane mane). Osobe koje imaju oštećenje središnjeg živčanog sustava mogu pokazivati do šest različitih vrsta poremećaja: senzorne deficite, motoričke deficite, poremećaje koncentracije, umor i zabrinutost, gubitak motivacije i emocionalne probleme (Horvatić i sur., 2009).

1.2.3. Cerebrovaskularni infarkt

Cerebrovaskularni infarkt ili moždani udar možemo definirati kao neurološki deficit koji nastaje kao rezultat fokalne i akutne ozljede središnjeg živčanog sustava (Goncalves i sur., 2018). On je treći uzrok smrtnosti u svijetu i vodeći uzrok invaliditeta kod odraslih osoba. Jedna od njegovih najčešćih posljedica je hemipareza (Diwan i sur., 2014). Gotovo 85% osoba iskusi hemiparezu odmah nakon moždanog udara, osobito u gornjem ekstremitetu, a 55%-75% osoba imaju trajne teškoće u motoričkom funkcioniranju, što im otežava povratak u svakodnevne aktivnosti života. (Saposnik i sur., 2010 prema Goncalves i sur., 2018). Hemipareza negativno utječe na brojne aktivnosti poput kupanja, oblačenja i samozbrinjavanja. Uz to, oštećena posturalna kontrola dodatno otežava motoričko funkcioniranje (Batson i Deutsch, 2005). Posljedično dolazi do smanjenje funkcionalne nezavisnosti i socijalne uključenosti osobe što znatno utječe na pogoršanje kvalitete života osobe. Stoga su inovacije i studije o novim efektivnim metodama terapije za povratak motoričkih funkcija ruke identificirane kao prioritet istraživanja o moždanom udaru (Pollock i

sur., 2014 prema Cherry i sur.,2018). Epidemiološke kliničke studije pokazale su da 33%-66% osoba nema nikakav povratak motoričkih funkcija nakon šest mjeseci. Još uvijek se radi na razvoju novih metoda koje će poboljšati motoričko funkcioniranje gornjih ekstremiteta (Concalves i sur., 2018).

1.2.4. Cerebralna paraliza

Cerebralnu paralizu definiramo kao grupu neprogresivnih, ali često promjenjivih motoričkih oštećenja koja su uzrokovana lezijom središnjeg živčanog sustava u ranijim stadijima razvoja. Iako je lezija neprogresivna, oštećenje i invaliditet mogu biti progresivni (Kuban i Leviton, 1994). Na svakih 2000 novorođenčadi 5 je rođeno s cerebralnom paralizom i to ju čini jednim od najčešćih kongenitalnih problema. Uzroke možemo podijeliti na dvije kategorije a to su: razvojne malformacije mozga i oštećenje mozga u razvoju (Udruga osoba s cerebralnom i dječjom paralizom Rijeka, n.d.). Neki od rizičnih faktora koji mogu dovesti do cerebralne paralize su: hipoksija, niska porođajna težina, prerano rođenje, poremećaj metaboličkih proces, prenatalna afiksija, inkompatibilnost Rh faktora, kongenitalne malformacije mozga, infekcije tijekom poroda, traume i drugi (Horvatić i sur., 2009). Osnovni tipovi cerebralne paralize s obzirom na tip motoričkih disfunkcija su: spastična, atetoidna, tremor, atonička i mješovita (Pospiš, 2001 prema Horvatić i sur., 2009). Spastični oblici zastupljeni su u više od 75% djece, a spastična hemiplegija najzastupljeniji je spastični oblik cerebralne paralize u kojem dolazi do smanjene funkcionalnosti jedne strane tijela uz permanentnu kontrakciju mišića bez voljnog poticaja (Udruga osoba s cerebralnom i dječjom paralizom Rijeka, n.d.). Ateoidni oblik karakteriziraju nekontrolirani, nekoordinirani, spori pokreti čiji intenzitet varira. Tremor predstavlja neprekidnu ritmičku kontrakciju fleksora i ekstenzora, a atonički tip je obilježen sniženim mišićnim tonusom. Mješoviti tip je kombinacija simptoma prethodnih tipova. Posljedice oštećenja mogu biti: motorički deficiti, intelektualne teškoće, poremećaji percepcije, vida, sluha, verbalne komunikacije, poremećaje u afektivnom životu i ponašanju (Horvatić i sur., 2009). Što se tiče motoričkih teškoća, često dolazi do smanjene sposobnosti izvođenja manipulativnih aktivnosti na što utječe prisutni spasticitet, slabost mišića, smanjena taktilna osjetljivost, disfunkcija senzomotornih sposobnosti i postojanje zrcalnih pokreta (Bonnieur i sur., 2006). Nemogućnost kontrole i koordiniranja voljnih mišića rezultira s lošom selektivnom kontrolom mišićne aktivnosti. Također dolazi do oštećenja vještina spontane motoričke aktivnosti što posljedično negativno utječe na cjelokupan razvoj,

funkcioniranje i kvalitetu života osobe (Niezgodzka i sur., 2015). Osobe su od trenutka dijagnoze podvrgnute raznim re/habilitacijskim programima. Studije su pokazale da je za dobre rezultate bitna rana intenzivna stimulacija oštećenih područja psihomotorike zbog plastičnosti živčanog sustava, odnosno sposobnosti moždanog tkiva djeteta, da zamjenom oštećenog tkiva drugim, održi funkcionalnost (Horvatić i sur., 2009).

1.2.5. Metode rehabilitacije motoričkih poremećaja

Svaka osoba ima jedinstveni način funkcioniranja te je sukladno kliničkoj dijagnozi osobe potrebno kreirati individualan re/habilitacijski program (Horvatić i sur., 2009).

Teorije motoričkog učenja idu od pretpostavke da se učenje javlja kroz interakciju mnogih sustava osobe i specifičnog zadatka kojeg ta osoba izvršava u određenoj okolini. Za uspješno motoričko učenje potrebna je ponavljajuća praksa izvođenja zadataka te strategija pronalaženja adekvatnih rješenja motoričkih problema i razvijanja nužnih vještina (Bonnier i sur., 2006).

Neke od standardnih dostupnih učinkovitih tretmana za rehabilitaciju motoričkih funkcija uslijed oštećenja središnjeg živčanog sustava uključuju: fizikalnu terapiju, radnu terapiju, bilateralni trening, terapiju lijekovima, operativne zahvate i ortopedska pomagala. Fizikalna terapija ima centralnu ulogu tretmana, fokusirajući se na posturu, ravnotežu, pokretljivost, snagu i napredak u funkcioniranju (Weiss, Tirosh i Fehlings, 2014 prema Ravi, Kumar i Singhi, 2017).

Neke od suvremenih metoda koje se koriste za rehabilitaciju motoričkih funkcija uslijed oštećenja središnjeg živčanog sustava su: trening ruke namijenjen za blagu hemiparezu, terapija prisilno induciranih pokreta (CIMT), Feldenkraisova metoda, Masgutova metoda, interaktivna robotska terapija i terapija bazirana na virtualnoj stvarnosti (Krakauer, 2006).

Trening ruke namijenjen za blagu hemiparezu razvijen je za osobe koje se žale na nespretnost i smanjenu koordinaciju, iako možda imaju uredne neurološke preglede i rezultate na testovima Fugl-Meyer. Zadaci su odabrani na temelju analize sposobnosti osoba bez motoričkih teškoća. Protokol uključuje mnoge koncepte iz literature motoričkog učenja s ciljem povećanja retencije i generalizacije naučenog (Platz, Winter, Muller i sur., 2003 prema Krakauer, 2006).

Terapija prisilno induciranih pokreta (eng. CIMT- Constraint.induced movement therapy) zadobila je veliku količinu pažnje jer je pokazala da čak pacijenti s kroničnim posljedicama moždanog udara mogu pokazati značajne napretke (Krakauer, 2006). U terapiji dolazi do

fizičkog ograničavanja nezahvaćenog ekstremiteta u svrhu sprječavanja njegovog korištenja u izvođenju aktivnosti te sadrži vježbe pokreta širokog opsega s manje funkcionalnim, odnosno zahvaćenim ekstremitetom (Charles, Wolf, Schneider i Gordon, 2006).

Temelj Masgutove metode neurosenzomotorne refleksne integracije je razumijevanje da primitivni dojenački refleksi ne nestaju već sazrijevaju te se integriraju. Tako postaju struktura koja olakšava senzomotorno programiranje, planiranje i kontrolu viših tjelesnih i kognitivnih funkcija. Ova metoda nastoji olakšati prijelaz primitivnih refleksa u više obrasce kontroliranih pokreta, a najčešće korišteni postupci su: neurostrukturalna refleksa integracija, taktilna terapija, dinamička i posturalna integracija refleksnih obrazaca, vizualna i auditivna refleksna integracija i integracija refleksa disanja (Masgutova, 2008).

Feldenkraisova metoda je integrativni pristup učenju te poboljšanju motoričkog funkcioniranja osoba različite dobi i sposobnosti. Sastoji se od grupnih i individualnih lekcija. Individualne lekcije koriste manualni kontakt između učenika i učitelja s ciljem boljeg razumijevanja trenutnih obrazaca ponašanja i informiranja o lakšim načinima samoorganizacije poboljšanog ponašanja. Grupne lekcije su verbalno vođene te se tijekom njih nastoji ukazati učenicima na to da budu svjesni onoga što trenutno rade, da poboljšaju sposobnost perceptualnog razlikovanja i istraže načine djelovanja koji rezultiraju napretkom (Buchanan, 2012).

Interaktivna robotska terapija koristi robote koji su dizajnirani za ruku ili nogu osobe te rade s osobom na ponovnoj uspostavi moždanih veza tako da lagano gura dodatak u željenom smjeru. Ideja iza ove terapije je da osobe neće vratiti svoje motoričke vještine bez aktivnog pokušavanja pomicanja zahvaćenih dijelova tijela. S obzirom na to, roboti su dizajnirani da bi se prilagodili razini motoričkih vještina osobe, dopuštajući da to bude koristan alat u svim koracima rehabilitacije (Kessel, 2009).

2. PROBLEMSKA PITANJA

S obzirom na područja opisana u uvodnom dijelu, može se primijetiti da je sustav virtualne stvarnosti novije područje tehnologije podložno raznovrsnim primjenama te da jedna od tih primjena može biti područje rehabilitacije motoričkih sposobnosti. Oštećenja središnjeg živčanog sustava kao što su cerebrovaskularni inzult i cerebralna paraliza primjeri su

motoričkih poremećaja koji zahtijevaju širok spektar metoda re/habilitacije zbog heterogene prirode njihovih ishoda.

Središte zanimanja ovog rada prethodno su navedena metoda i istaknuta oštećenja središnjeg živčanog sustava, a njegova svrha je pregledom dosadašnjih istraživanja prikazati učinkovitost primjene metode virtualne stvarnosti u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta. Fokus je stavljen na pregled studija koje uključuju djecu i odrasle s posljedicama moždanog udara ili cerebralne paralize. U nastavku rada donosi se prikaz studija koje su istražile utjecaj rehabilitacije virtualnom stvarnosti na motoričko funkcioniranje djece i adolescenata sa cerebralnom paralizom, zatim studija koje su se bavile rehabilitacijom osoba s posljedicama moždanog udara koristeći sustav VS kao samostalnu metodu terapije ili u kombinaciji s drugim terapijama. Također se opisuje primjena novorazvijenog polja telerehabilitacije, odnosno kućno-bazirane terapije putem virtualne stvarnosti. Na završetku se pruža zaključak o primjeni, učinkovitosti, izazovima i budućnosti virtualne stvarnosti u domeni rehabilitacije gornjih ekstremiteta.

S obzirom na to da je primjena ove metode u području rehabilitacije relativno nova, može se pretpostaviti da je njena zastupljenost u Hrvatskoj vrlo mala. Jedan od ciljeva rada usmjeren je i na provjeru dostupnosti i primjene metode u Hrvatskoj te prikaz pronađenih informacija.

3. PREGLED DOSADAŠNJIH SPOZNAJA

3.1. Prednosti i izazovi primjene VS u rehabilitaciji

Neke od prednosti primjene virtualne stvarnosti u rehabilitaciji su: kompletna kontrola nad stimulansom i njegovom konzistencijom, mogućnost izmjene podražaja od jednostavnih do složenih, mogućnost brzog i lakog ocjenjivanja i snimanja napretka osobe, osiguravanje sigurnog okoliša za učenje, kapacitet ponude individualne terapije (ovisno o dijagnozi i potrebama osobe), utjecaj na motivaciju osobe kroz mogućnost uključivanja igre u proces rehabilitacije te mnoge druge (Schultheis i Rizzo, 2001 prema Matijević i sur., 2013).

Fokus diskusije o prednostima korištenja virtualne stvarnosti u rehabilitaciji bit će stavljen na nekoliko ključnih koncepata vezanih uz motoričko učenje. Ti osnovni koncepti su ponavljanje, povratna informacija ili feedback i motivacija. Znamo koliko je ponavljanje važno, ne samo za motoričko učenje, već i za kortikalne promjene koje ono inicira. No,

ponavljanje nije jedini faktor koji utječe na motoričko učenje. Ponavljana praksa mora biti povezana s postupnim uspjehom u postizanju nekog cilja. To se inače postiže metodom pokušaja i pogreške, s povratnom informacijom o uspješnosti izvedbe koju nam pružaju osjetila. Da bi sudionici vježbali pokrete uz česta ponavljanja istih, moraju imati određenu motivaciju. Na primjer, većina ljudi se još uvijek može sjetiti dugotrajnog vježbanja koje je bilo potrebno da nauče voziti bicikl. U ovom slučaju, motivacija za toleriranje perioda ekstenzivnog vježbanja nalazi se u iščekivanju krajnjeg rezultata, a to je zabava koju doživljavamo tijekom vožnje. Virtualna stvarnost je moćan alat koji pruža sudionicima sve ove elemente- ponavljanje, povratnu informaciju o izvedbi (feedback) i motivaciju. Feedback je centralni dio motoričkog učenja u virtualnoj okolini. On može biti proširen, odnosno naglašen u odnosu na feedback kojeg bi dobili u stvarnom svijetu (Holden, 2005). Puno različitih metoda je do sada korišteno da bi se aspekti virtualne stvarnosti iskoristili za povećanje razine motoričkog učenja kod osoba s teškoćama kroz feedback u pravom vremenu (istovremen s izvedbom zadatka) i/ ili „znanje rezultata“ feedback. Feedback znanja rezultata događa se odmah nakon vježbe ili seta vježbi. On je ekstenzivno istražen te je dokazano da povećava stopu učenja (Bilodeau i Bilodeau, 1962).

Uz dodatak važnim faktorima o kojima smo prethodno diskutirali, trebalo bi spomenuti i nekoliko drugih faktora koji bi mogli pojačati motoričko učenje u virtualnoj stvarnosti. Na primjer, postoje psihofizički dokazi da ljudi izvlače specifikacije pokreta prateći putanju krajnje točke ekstremiteta (Flash i Hogan, 1985). Precizna definicija „krajnje točke“ ovisi o zadatku te može varirati od samo vrha objekta koji se drži do prsta ili cijele ruke. Pokazujući sudioniku ovu putanju do krajnje točke kroz animirani ekran virtualne stvarnosti, učenje se može pojačati, pogotovo u početnoj fazi (Holden i Dyar, 2002).

Virtualna stvarnost nam također omogućuje programiranje virtualnog učitelja unutar zaslona. Virtualni učitelj više puta izvodi zadatak. Njegova repetitivna izvedba pokreta daje snažan vizualni input koji može pružiti pojačanje učenja imitacijom (Holden, 2001 prema Holden, 2005). Zrcalni neuroni su stanice koje su otkrivene u premotornom korteksu majmuna. (Rizzolatti, Fadiga, Fogassi i sur.,1999 prema Holden, 2005). Oni mogu pružiti neurofizičku podršku učenju putem imitacije u virtualnoj stvarnosti. Način učenja imitacijom nije samo važan način za bolji vizualni feedback, već i za razvijanje formacija točnih puteva unutar središnjeg živčanog sustava putem ponavljanja (Padoa Schioppa, Li i Bizzi, 2002 prema Holden, 2005). Kao što je već spomenuto, sustav VS nudi jedinstvenu mogućnost trenutnog feedbacka sudioniku tijekom vježbanja u formi koju je lako interpretirati. Sudionici mogu

vidjeti svoje pokušaje pokreta u istom prostornom okviru s pokretima virtualnog učitelja (za razliku od vježbanja sa stvarnim učiteljem). Također, zadatak se može pojednostaviti u ranim fazama učenja što omogućava učeniku da se fokusira na ključne elemente. Za razliku od virtualnog svijeta, u stvarnom svijetu postoji puno potencijalnih ometajućih čimbenika koji mogu usporiti proces učenja (Holden, 2005).

Usprkos svim dobrobitima, rehabilitacija virtualnom stvarnosti sadrži značajne izazove za široko rasprostranjeno usvajanje. Prvi izazov je kliničko prihvaćanje, koje je uvjetovano dokazanom medicinskom učinkovitosti i proaktivnim odgovorom terapeuta. Još uvijek ne postoji dovoljno podataka koji bi podržali održivost rehabilitacije putem virtualne stvarnosti. Iako, početni podaci pilot studija vrlo su ohrabrujući, pogotovo u području rehabilitacije osoba s posljedicama moždanog udara. Terapija VS pružila je poboljšanje godinama nakon moždanog udara te dugo nakon prestanka klasične terapije (Holden i Todorov, 2002; Boian i sur., 2002 prema Burdea, 2003).

Stav rehabilitatora ili terapeuta prema tehnologiji također predstavlja izazov. Neki tvrde da će rehabilitacija virtualnom stvarnosti zamijeniti osoblje računalima. Virtualna stvarnost je zapravo pojačanje za terapeuta koje mu dopušta da napravi više, s većim brojem osoba. Ovaj tehnološki jaz balansira prihvaćajući stav pacijenata i njihovih skrbnika (Buckley i sur., 2001 prema Burdea, 2003).

Cijene opreme su se značajno smanjile od prvih cijena uređaja, ali su trenutne cijene još uvijek sprječavajuće za klinike ili školske ustanove (Burdea, 2003). Napredniji HMD uređaji su trenutno poprilično skupi u Hrvatskoj. Najniže cijene u ponudi su sljedeće: 105 - HTC Vive = 4.967 kn, Oculus Rift = 4.199 kn, Sony PlayStation VR = 1, 899 kn. VR Headset uređaji koji koriste Smartphone i iPhone uređaje su jeftinija rješenja i time su dostupnija široj populaciji ljudi (nabava.net, 2001).

Telerehabilitacija (kućno-bazirana rehabilitacija) ima dodatne izazove koji se tiču sigurnosti osobe. Dok osoba vježba u virtualnoj stvarnosti sama, postoji rizik od ozljeđivanja zbog primjene prevelike sile tijekom zadatka ili zbog prekomjernog vježbanja. S obzirom na to da je telerehabilitacija noviji oblik terapije, nije još uvijek jasno na koji način će psihološki faktori utjecati na oporavak. Može doći do toga da neke osobe vježbaju manje bez direktne intervencije terapeuta jer se osjećaju da dobivaju manje pažnje i intervencije nego što zaslužuju. Ostali će možda preferirati manje ljudskog kontakta te su zbog toga potrebne studije velikih razmjera koje će odgovoriti na pitanja kao što su: Je li telerehabilitacija

jednako učinkovita kao virtualna rehabilitacija koja se provodi u klinici? Je li dobra kao i klasične metode rehabilitacije? (Burdea, 2003).

3.2. Virtualna stvarnost u rehabilitaciji osoba sa cerebralnom paralizom

Rehabilitacija pomoću virtualne stvarnosti predstavlja terapijsku metodu u nastajanju za rehabilitaciju motoričkih sposobnosti djece s cerebralnom paralizom. Tehnologija se uvelike razlikuje u razini imerzije, cijeni i složenosti. Interakcijsko sučelje može varirati od jednostavnog joysticka (npr. Wii upravljač) do kompleksne kamere pokreta (npr. Kinect senzor) i hardver prikaza koji uključuje standardne računalne/televizijske ekrane i naglavne uređaje (HMD) (Weiss i sur., 2014 prema Ravi, Kumar i Singhi., 2017).

Kako bi okupili posljednje dokaze i saželi trenutno područje literature, autori Ravi, Kumar i Singhi (2017) napisali su sistematski pregled s ciljem da prikažu novije dokaze za učinkovitost virtualne stvarnosti u rehabilitacijskim tretmanima za djecu i adolescente s cerebralnom paralizom te da pruže preporuke za buduća klinička istraživanja. Sistematski pregled je napisan prema vodiljama Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Provedena je detaljna pretraga literature objavljene do lipnja 2016. godine (Ravi i sur., 2017).

Kriteriji odabira literature bili su: (1) studija uključuje djecu i/ili adolescente s cerebralnom paralizom u dobi od 5 do 18 godina; (2) intervencija uključuje sustav virtualne stvarnosti; (3) usporedbe unutar grupe su provedene; (4) ishodi o motoričkim funkcijama su izviješteni i (5) dizajn studije je praćen do kraja studije.

Izvađene su sljedeće informacije iz uključenih studija: dizajn studije, veličina uzorka, godine, spol, vrsta cerebralne paralize, terapija i postupak procjene, mjere ishoda i zaključak studije. Procijenjena je metodološka kvaliteta uključenih studija kako bi se utvrdilo potencijalne rizike ili pristranost. Korištena je Downs and Black lista provjere za procjenu studija na četiri podskale: izvješćivanje, vanjska valjanost, pristranost i neočekivani utjecaj, s ukupnim rezultatom od 27. Meta-analiza se nije mogla napraviti zbog heterogenosti između studija. Za sumiranje pronađenog korišten je Oxford Center for Evidence-Based Medicine 2011. Pet je levela dokaza. Na primjer, namijenjena interpretacija za Level 2 dokaza je RCT ili sistematski pregled kohortnih studija koji pokazuje dokaze o učinkovitosti terapije (Ravi i sur, 2017)

Većina sudionika nastavila je sa svojim fizikalnim i radnim terapijama tijekom sudjelovanja u studiji te je većina studija koristila komercijalne sustave kao što su: Wii konzola, SonyPlayStation Eye Toy, Sony PlayStation 2, Xbox konzola (Ravi i sur., 2017).

S obzirom na to da je ova studija istražila i opisala velik broj studija (31) koje su uključivale različite oblike cerebralne paralize s raznovrsnim motoričkim disfunkcijama kao što su problemi ravnoteže, sjedenja, hodanja, što prelazi okvir teme ovog rada, u nastavku će biti prikazane i sažete samo studije koje uključuju rezultate utjecaja VS na motoričke funkcije gornjih ekstremiteta zahvaćenih cerebralnom paralizom.

Rezultati 12 studija, uključujući jedan RCT (sistematski pregled kohortnih studija), izvijestili su o napretku u motoričkim vještinama gornjih ekstremiteta sudionika, dok 8 studija, uključujući tri RCTa, nisu primijetile promjene u motoričkim vještinama gornjih ekstremiteta. Dinomas i sur. (2013), Green i Wilson (2012) i Chiu i sur. (2014) prema Ravi i sur., 2017 izvijestili su o nikakvim ili limitiranim dokazima o učinkovitosti korištenja Jebsonovog testa za funkcije ruke (Jebson's Hand Function Test). Suprotno tome, klinički značajan napredak je izviješten u dvije studije. Jedan od razloga tome mogao bi biti duži period intervencije. Pokazano je da bilateralni trening ruke baziran na virtualnog stvarnosti unaprjeđuje motoričke vještine gornjih ekstremiteta kod djece sa hemiplegičnom cerebralnom paralizom. Funkcije gornjih ekstremiteta su se također poboljšale u Box and Block testu. Jannink i sur. (2008) izvijestili su o 9% do 13% poboljšanja u funkciji ruke kod dvoje djece u kontrolnoj grupi, a Gordon i sur. (2012) da se prosječan rezultat na Gross Motor Function Measure povećao za 7,34 nakon šest tjedana treninga putem Wii sustava, što je potvrdilo i nekoliko drugih studija. Troje od četvero djece je pokazalo brže, lakše i usredotočenije izvođenje pokreta posezanja nakon intervencije. Terapija virtualnom stvarnosti je također maksimizirala motoričke funkcije ruke djece za izvođenje svakodnevnih aktivnosti. Bile su potrebne dobre kognitivne sposobnosti za razumijevanje tretmana virtualne stvarnosti, što je ograničilo njegovu primjenu za određene populacije. Samo je nekoliko studija uključivalo follow-up studiju kako bi pokazale primjenu naučenih vještina u aktivnostima svakodnevnog života (Ravi i sur., 2017).

Ovaj pregledni rad nije pronašao konkretne dokaze o usporedbi utjecaja kućno-bazirane, bazirane u zajednici i klinički-bazirane okoline na terapijske ishode. Pretpostavlja se da je to utjecalo na završni ishod te da treba biti detaljno proučeno za buduće preporuke. Terapija virtualnom stvarnosti kroz telerehabilitaciju je nadolazeći pristup koji pruža brigu fokusiranu

na sudionika unutar okoline doma. Odluke i odgovori osobe na intervenciju uvelike ovise o njezinom/njegovom obrascu funkcioniranja i okolini u kojoj se nalazi (Ravi i sur., 2017).

Slijedi tablica s prikazom glavnih informacija iz nekoliko prethodno spomenutih studija koje su uključivale istraživanje utjecaja VS na motoričko funkcioniranje gornjih ekstremiteta :

Tablica 1 Prikaz studija o utjecaju VS na motoričko funkcioniranje djece/adolescenata sa CP

Studija	Sudionici	Stanje	Intervencija	Mjere	Rezultati
Dinomais i sur., 2013 prema Ravi i sur., 2017	E (2) Spol: 2M Srednja dob= 16 godina	Spastična CP Lijeve unilaterala	Xbox 360 Kinect Priroda: ne-imerzivna Ulazni uređaj (UU): Kincet motion sensor Izlazni uređaj (IU): TV ekran 60 min/terapiji 10 puta/tjedno 20 terapija	BBT, JHFT	Poboljšanje u gruboj motoričkoj spretnosti zahvaćenog gornjeg ekstremiteta
Green i Wilson, 2012 prema Ravi i sur., 2017	E (4) Spol: 2M, 2Ž Srednja dob= 6,79 godina	CP Hemiplegija MACS Level II ili III	VR (RE-ACTION) Priroda: ne-imerzivna UU: stereo kamera IU: TV ekran 30 min/ terapiji 3-5 puta/tjedno 3-4 tjedna	BBT, JHFT, ABILHAND-kids, CHEQ	Poboljšanje u funkcijama gornjeg ekstremiteta
Do i sur., 2016 prema Ravi i sur., 2017	E (3)	Hemiplegija	Nintendo Wii 30 min/terapiji 4 bazne intervencije, 12 intervencija terapije, 4 terapije regresije	WMFT, PMAL	Poboljšanje u vještinama gornjih ekstremiteta i sposobnosti bilateralne koordinacije
Chen i sur., 2007 prema Riva i sur., 2017	E (4) Spol: 3M, 1Ž Srednja dob= 6,3 godine	Spastična CP Hemiplegija (1) Kvadriplegija (3)	Sony PlayStation 2, 5DT 5 Ultra Glove Priroda: ne-imerzivna UU: rukavica i Eye Toy Camera IU: TV ekran 2-3 puta/ tjedno 2 sata (4 tjedna)	Reaching kinematics, PDMS-2	Poboljšanje u izvedbi pokreta posezanja i kontroli

Stansfield i sur., 2015 prema Riva i sur., 2017	E (1) Spol: 1M Dob= 10 godina	Ataksična CP	Ne-komerijalni Priroda: ne-imerzivna UU: magnetski senzor pokreta IU: TV ekran 9 terapija	Brzina posezanja, QUEST, GAS	Poboljšanje u doseg, funkcionalnim zadacima i vještinama gornjih ekstremiteta
Pretest, post-test and follow-up design Sandlund i sur., 2014 prema Ravi i sur., 2017	E (15) Spol: 8M, 7Ž Srednja dob= 11,1 godina	Spastična CP (13) Diskinetička CP (1) Slaba ataksična CP (1) GMFCS Level I do III	Sony PlayStation 2 Priroda: ne-imerzivna UU: Eye Toy Camera IU: TV ekran 20 min/terapiji 5-6 puta/tjedno 4 tjedna	Spatio- temporal parameters	Poboljšanje u motoričkoj kontroli gornjih ekstremiteta, ekonomska strategija posezanja, povećanje glatkoće pokreta
Winkels i Buurke, 2013 prema Ravi i sur., 2017	E (15) Spol: 12M, 3Ž Srednja dob: 8,9 godina	Spastična CP (14) Ataksična CP (1) GMFC Level I ili III	Wii Priroda: ne-imerzivna UU: Wii Remote 30 min/terapiji 2 puta/tjedno 6 terapija	MA, ABILHAND-Kids	Nema promjene u kvaliteti pokreta gornjih ekstremiteta
Golomb i sur., 2010 prema Ravi i sur., 2017	E (3) Spol: 2M, 1Ž Srednja dob= 14,3 godina	CP Desna hemiplegija	PlayStation 3 konzola Priroda: ne-imerzivna UU: 5DT 5 Ultra Glove IU: ekran računala 30 min/ terapiji 5 puta/ tjedno 60 terapija	Hvat ruke, pincetni hvat, snaga, BOT, JHFT, finger ROM, DXA, pQCT, fMRI	Poboljšana funkcija ruke i zdravlje podlaktične kosti

Fluet i sur., 2010 prema Ravi i sur., 2017	E (9) Spol: 3M, 6Ž Srednja dob= 9 godina	CP Hemiplegija	New Jersey Institute of Technology Robot Assisted Priroda: ne-imerzivna UU: NJIT RAVR Robot IU: ekran 60 min/terapiji 3 puta/tjedno 9 terapija	MA i kinematske mjere posezanja	Poboljšanja u gornjim ekstremitetima, aktivna abdukcija i fleksija ramena i supinacija podlaktice
Chen i sur., 2015 prema Ravi i sur., 2017	E (3), C (11) Spol: 5M, 9Ž Srednja dob: 9 i 8,87 godina	CP Hipotonična Hemiplegija	Sony PlayStation 2 Priroda: ne-imerzivna UU: Eye Toy Camera IU: projektor 30 min/ terapiji 5 puta/tjedno 8 tjedana	Kinematika posezanja BOT-2, PMAL	Samo kod jedno sudionika je došlo do poboljšanja u pokretu posezanja i funkcionalnom korištenju ruke
Sevick i sur., 2016 prema Ravi i sur., 2017	E (4) Spol: 2M, 2Ž Srednja dob= 11 godina	Spastična CP Hemiplegija GMFCS Level I	Microsoft Kinect Sensor + internet video igre 60 min/terapiji 3 puta/tjedno 12 tjedana	AROM, BOT-2, Modified UE Functional Targeting Reach Test	Poboljšanje u vještinama gornjih ekstremiteta
Jannink i sur., 2008 prema Ravi i sur., 2017	E (5), C (5) Spol: 9M, 1Ž Srednja dob= 11,75 i 12,25 godina	Spastična CP Hemiplegija (1) Tetraplegija (7) Diplegija (2) GMFCS Level I, III i IV	Sony PlayStation 2 Priroda: ne-imerzivna UU: Eye Toy Camera II: TV ekran 30 min/terapiji 2 puta/tjedno 12 terapija	MA	Poboljšanje u funkcijama gornjih ekstremiteta

GMFC- Gross Motor Function Classification System; E- eksperimentalno, C- kontrolno; M- muški; Ž-ženski; BBT- Box and Block Test; BOT- Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency; CHEQ- Children's Hand Experience Questionnaire; GAS- Goal Attainment Scale; JHF- Jepsen Taylor Test of Hand Function; MA- Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function; PDMS-2- Peabody Developmental Motor Scales, second edition; QUEST- Quality of Upper Extremity Skills

Test; AROM- Active Range Of Motion; WMFT- Wolf Motor Function Test; pQCT- peripheral Quantitative Computed Tomography; ROM- Range Of Motion; PMAL- the Pediatric Motor Activity Log (Ravi i sur., 2017).

Diskusija

Rehabilitacija virtualnom stvarnosti potencijalno je korisna za tretman djece i adolescenata s cerebralnom paralizom. Većina studija imala je vrlo mali uzorak sudionika te je nedostajalo metoda potrebnih za procjenu valjanosti dizajna studije. Bila je prisutna heterogenost u dobi, razini i vrsti disfunkcije populacije. Nažalost, heterogenost je u prirodi neuroloških poremećaja, što stavlja pod pitanje koliko je moguće imati homogenost populacije u studijama. Navedene prepreke ograničavaju donošenje konačnog zaključka i vodilje za kliničku praksu. No, postoji nekoliko razloga koji podržavaju klinička istraživanja u ovom području. Baza dokaza je umjerena za područje ravnoteže i ukupnog motoričkog funkcioniranja, ali dokazi za utjecaj VS na poboljšanje motoričkih vještina gornjih ekstremiteta, kontrole zglobova, držanja i snage su vrlo slabi. Važno je naglasiti da se interes sudionika nije smanjio s vremenom tijekom dugotrajnih intervencija. On je održan neprestanim nuđenjem novih i izazovnih zadataka, odnosno ciljeva. Psihomotorne opservacija i interpretacija je bila rijetko uključena tijekom proba, a tijekom istraživanja neurorazvojnih poremećaja to je potrebno. Ovaj pregledni rad ne može donijeti zaključke o superiornosti treninga putem virtualne stvarnosti nad tradicionalnim terapijskim pristupima, ali može preporučiti korištenje virtualne stvarnosti kao nadopunu ostalim terapijama u kliničkoj praksi. Potrebni su dizajni studija koji izbjegavaju korištenje više intervencija kako bi se moglo usredotočiti i dalje istražiti utjecaj rehabilitacije pomoću virtualne stvarnosti. Nekolicina studija započela je intervenciju s terapeutski značajnim varijablama koje su bile primaran cilj napretka kod sudionika, a korištenim sustavima virtualne stvarnosti je nedostajala ka cilju usmjerena okolina za vježbe. Dizajn studije može strateški odabrati sustave i okoline za trening koji odgovaraju specifičnim ciljevima provedbom pilot studija karakteristika pokreta, ali to je vrlo težak zadatak. Prikazane studije nisu koristile HMD uređaje koji pružaju veće imerzivno iskustvo te koji bi mogli pridonijeti povećanom angažmanu osobe tijekom rehabilitacije. Ipak, komercijalne konzole za igranje su povoljne i dostupne za većinu populacije te su postale popularne unatoč činjenici da one nisu dizajnirane za fizikalnu rehabilitaciju (Ravi i sur., 2017).

3.3. Virtualna stvarnost u rehabilitaciji osoba sa posljedicama moždanog udara

1) Elements virtualna rehabilitacija poboljšava motoričke, kognitivne i funkcionalne ishode kod odraslih nakon moždanog udara: rezultati randomizirane kontrolirane pilot studije

Do nedavno, većina sustava virtualne stvarnosti bila je dizajnirana za poboljšanje motoričkog funkcioniranja te su kognitivni ishodi često bili sekundarni tijekom evaluacije. Tretmani koji se fokusiraju na motoričke i kognitivne funkcije namijenjeni su za posljedice moždanog udara s obzirom na to da se kognitivni i motorički sustavi preklapaju na strukturalnoj i funkcionalnoj razini i rade zajedno u „percepcija-akcija krugu“ kod osoba tijekom rehabilitacije nakon moždanog udara. Ako je dizajnirana za adresiranje aspekata kognitivne kontrole i planiranja, VS ima potencijal naglašavanja kontrole simultanih zadataka, što rezultira boljom generalizacijom treniranih vještina u svakodnevnom funkcioniranju). Nekoliko sustava VS je dizajnirano kako bi se istražilo faktore koji povećavaju intenzitet treninga i motoričko učenje. Jedan od njih je sustav Elements koji je korišten u ovoj studiji. Elements sustav VS dizajniran je kako bi pojačao neuro-plastičan proces oporavka kroz: obogaćenu terapijsku okolinu koja pruža prirodni oblik interakcije preko lako shvatljivih računalnih prikaza koji uključuju kognitivnu pažnju sudionika i njihovu motivaciju za istraživanje zadataka; istovremeni prošireni feedback o izvedbi nudeći sudionicima dodatne informacije o ishodu njihovih akcija kako bi došlo do ponovne izgradnje osjećaja za poziciju tijela u prostoru i sposobnosti za predviđanje/ planiranje budućih akcija; osiguravanje dinamičnog sustava procesiranja informacija i sposobnosti odgovora sudionika (Rogers i sur., 2019).

Jedan od širih ciljeva ove studije bio je procijeniti učinkovitost Elements VS interaktivnog stolnog sustava u rehabilitaciji motoričkih i kognitivnih funkcija osoba s posljedicama akutnog moždanog udara u usporedbi s uobičajenim tretmanom (TAU; treatment as usual). Fokus je stavljen na motoričke i kognitivne ishode, njihovu vezu te prijenos i održavanje učinaka tretmana (Rogers i sur., 2019).

Sudionici

U studiji su sudjelovali pacijenti s posljedicama moždanog udara iz rehabilitacijskog odjela bolnice u Sydney-u, Australiji. Svi su pacijenti primljeni na odjel zbog disfunkcije gornjih ekstremiteta nakon unilateralnog moždanog udara. Dodatni kriteriji uključivanja bili su: (1) sposobnost komunikacije na engleskom jeziku i razumijevanje i praćenje verbalnih uputa i (2)

sposobnost održavanja ravnoteže tijekom sjedenja bez pomoći. Isključujući kriteriji bili su: (1) povijest neuroloških (osim moždanog udara), psihijatrijskih ili razvojnih poremećaja; (2) gubitak oštine vida koji sprječava percepciju vizualnog materijala i (3) ispod 18 godina (Rogers i sur., 2019).

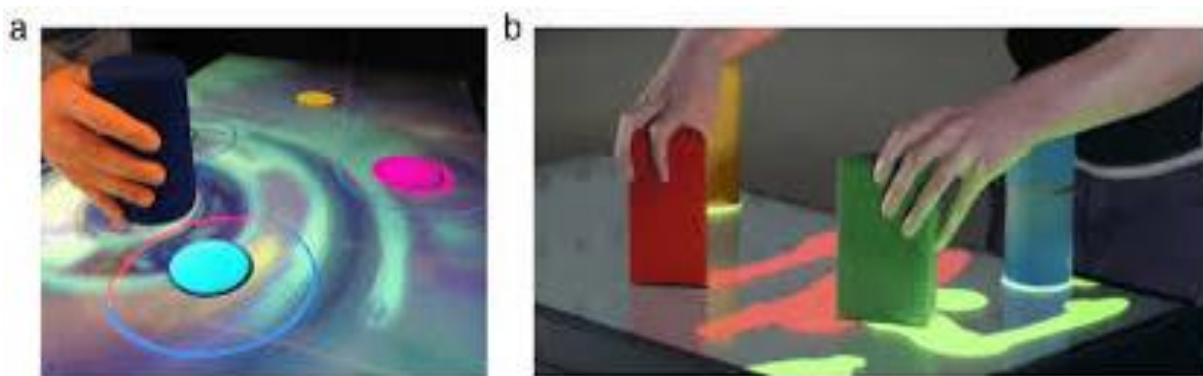
Mjere ishoda

Primarna mjera ishoda bio je *Box and Blocks Task* (BBT), koji mjeri motoričke vještine gornjeg ekstremiteta. Test se sastoji od dvije spojene drvene kutije između kojih se nalazi vertikalno postavljena drvena barijera koja ih razdvaja. Jedna je kutija napunjena sa 150 drvenih kockica veličine 2,5 cm. Cilj je prebaciti što više kockica preko barijere u drugu kutiju koristeći samo jednu ruku unutar 60 sekundi. Sekundarni ishodi mjereni su pomoću *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA), *Groton Maze Learning Task* (GMLT), *Set Shift Task* (SST) i *Neurobehavioural Functioning Inventory* (NFI). MoCA je kratak pregled općeg intelektualnog funkcioniranja unutar šest domena: orijentacija, pažnja, jezik, prostorno pamćenje i izvršne funkcije. Rezultati ispod 26 od 30 predstavljaju kognitivno oštećenje. GMLT i SST mjerili su aspekte kontrole izvršne funkcije. NFI je mjera koja se sastoji od 76 stavki koje mjere funkcionalno ponašanje i simptome u svakodnevnom životu. Raspon simptoma raspoređen je unutar šest podskala: depresija, somatski, pamćenje/pažnja, komunikacija, agresija i motorika. Motorička podskala nije ograničena na vještine gornjih ekstremiteta, već obuhvaća snagu cijelog tijela, koordinaciju i pokretljivost te sposobnost rješavanja svakodnevnih zadataka (Rogers i sur., 2019).

Postupak

Sudionici su razvrstani po godinama i vrsti moždanog udara (ishemijski ili hemoragijski) i zatim nasumice dodijeljeni eksperimentalnoj (VS+ TAU) ili kontrolnoj (TAU) grupi. Procjena motoričkih kognitivnih i funkcionalnih ishoda provedena je tri puta: prije Elements treninga (pre-test); odmah nakon treninga (post-test) i jedan mjesec nakon završetka treninga (follow-up). Eksperimentalna i kontrolna grupa imale su dnevno tri sata konvencionalne radne i fizikalne terapije (TAU) u bolnici. Eksperimentalna grupa je dodatno imala 12 terapija VS, podijeljenih u četiri tjedna. Trening pomoću sustava *Elements* sastojao se od 30-40 minutne seanse jedan na jedan u kojoj je razina težine zadatka varirala s obzirom na razinu izvedbe i napretka sudionika. Seanse su provedene u prisustvu psihologa koji je prošao trening virtualne rehabilitacije, u privatnoj sobi za terapiju u bolnici. Koristeći četiri objekta (četiri elementa u

obliku kruga, peterokuta, trokuta i pravokutnika), sudionik je imao interakciju s virtualnom okolinom prikazanom na LCD panelu s ekranom na dodir s ugrađenim centralnim procesorom. Prvi zadatak (Bases) sastojao se od baze i četiri potencijalne pokretne mete, sve u promjeru od 78 mm. Mete su istaknute po fiksnom redu (sjever, istok, zapad, jug). Drugi zadatak (Random Bases) imao je istu konfiguraciju meta, ali bile su istaknute po nasumičnom redu. Treći zadatak (Chase Task) započinje s praznim ekranom. Zatim se pojavi kružna meta nasumično u jednoj od devet lokacija. Četvrti zadatak (Go/No-Go) koristi iste pozicije kružnih meta kao treći zadatak, ali uz to se pojavljuju dodatne mete (trokut, pravokutnik i peterokut). Sudionici trebaju staviti objekt samo na kružne mete te se oduprijeti distraktorima. Zadaci 5,6 i 7 zahtijevaju od sudionika istraživanje virtualne okoline kreiranjem različitih oblika i zvukova putem pokreta. Tijekom svake seanse, sudionici napreduju kroz niz jednoručnih, ka cilju usmjerenih zadataka koje prati istraživački zadatak po njihovom izboru. Četiri ka cilju usmjerena zadatka uključuju pokret (podizanje ili pomicanje koristeći jednu ruku) i smještanje kružnog objekta na metu te mjere izvedbe (brzina i točnost). Prošireni auditivni i vizualni feedback prezentiran je tijekom izvedbe. Tri istraživačka zadatka nazivaju se Mixer, Squiggles i Swarm. Mixer se sastoji od 9 krugova te pomičući kružni objekt blizu kruga, aktivira se zvučna i vizualna animacija. Squiggles predstavlja prazan ekran na kojeg sudionici mogu crtati linije i oblike pomičući različite objekta po ekranu. Pomicanje objekta ostavlja vizualnu animaciju na ekranu i tijekom pomicanja svira glazba. Kada sudionik podigne objekt, animacija koju je napravio se pomiče po ekranu. Swarm potiče kontrolu obje ruke kako bi se istražila auditivno-vizualna veza između sva četiri objekta. Kada se objekti stave na ekran, puno raznobojnih oblika počinje gravitirati prema svakom objektu te ga prate tijekom njegovog pomicanja. Boja, veličina, zvuk i pokret pratećih oblika se mijenja promjenom položaja i udaljenosti između objekata (Rogers i sur., 2019).



Slika 8 Primjeri sustava Elements a) Bases zadatak b) Squiggles zadatak

Rezultati

U studiji je sudjelovao ukupno 21 sudionik u razdoblju između ožujka 2016. i rujna 2017. godine. Eksperimentalnoj skupini nasumice je dodijeljeno 10 sudionika, a kontrolnoj 11 te su svi sudionici ostali u studiji do kraja. Nije bilo statistički značajnih razlika između grupa u dobi, spolu, obrazovanju, lokaciji i ozbiljnosti moždanog udara te vremenu koje je prošlo od moždanog udara. Obje grupe su pokazale značajno poboljšanje u motoričkim i kognitivnim funkcijama i funkcionalnom statusu. Međutim, intenzitet utjecaja bio je znatno veći u eksperimentalnoj skupini. Na primjer, na rezultatima razlike prije-poslije, eksperimentalna skupina pokazala je značajno veći napredak u motoričkom funkcioniranju (BBT) ruke koja je više zahvaćena moždanim udarom i na svim mjerama kognitivnih funkcija (MoCA i CogState zadaci), u odnosu na kontrolnu skupinu. Razlike između grupa također su vidljive na mjerama funkcionalne izvedbe: NFI motorika, NFI kognicija i NFI komunikacija. Napredak koji je postigla eksperimentalna skupina unutar četiri tjedna veći je 2 do 3 puta od napretka kontrolne grupe. Osim toga napredak i rezultati treninga eksperimentalne skupine održani su i do jednomjesečne follow-up procjene (Rogers i sur., 2019).

2) Utjecaj novih tehnologija na rehabilitaciju uslijed moždanog udara: usporedba Armeo Spring i Kinect sustava

Dosadašnje studije pokazale su da korištenje sustava baziranih na okolini VS, senzorima pokreta i robotici, može dovesti do poboljšanja motoričkih funkcija (Emeryi sur., 1991.; Oczkowski i Barreca, 1993. prema Adomavičienė i sur., 2019).

Ciljevi studije bili su prikazati za koja su područja oporavka funkcija gornjih ekstremiteta nove metode pogodne i učinkovite te koliko one utječu na funkcionalno stanje i kognitivne funkcije (Adomavičienė i sur., 2019).

Hipoteze istraživanja bile su: (1) robotski uređaji i virtualna stvarnost oboje imaju pozitivan utjecaj na oporavak funkcionalne neovisnosti kod pacijenata nakon moždanog udara, ali (2) imaju različiti utjecaj na motoričke funkcije gornjih ekstremiteta i kognitivne promjene. Pretpostavka je da je robotski uređaj učinkovitiji i dopušta preciznije biranje zadataka za razvoj specifičnih motoričkih vještina (opseg pokreta, snaga ili spretnost zahvaćene ruke), dok igre bazirane na Kinect sustavu pružaju više slobodnih pokreta koji nisu toliko pogodni za

razvoj specifičnih motoričkih funkcija te mogu biti učinkovitije za kognitivne funkcije (Adomavičienė i sur., 2019).

Sredstva i metode

U randomiziranom kliničkom ispitivanju je sudjelovalo ukupno 60 pacijenata s posljedicama moždanog udara, po 30 u svakoj grupi. Međutim, nekoliko sudionika nije završilo istraživanje zbog pogoršanja zdravlja: visoki krvni tlak, povišena tjelesna temperatura, problemi s otkucajima srca i intolerancija na fizički teret. Ukupno je 42 sudionika ostalo u istraživanju do kraja i njihovi rezultati su analizirani.

Kriteriji uključivanja bili su: (1) ishemični ili hemoragijski moždani udar, (2) dob od 60-74 godine, (3) pareza ruke zahvaćene moždanim udarom, (4) ometajuće duboke i površinske senzacije i (5) MMSE (Mini-Mental State Examination) rezultat > 21 bod (nema kognitivnog oštećenja= 24-30 ili blago oštećenje= 18-23 boda). Kriteriji za isključenje bili su: (1) paraliza zahvaćene ruke, (2) MMSE rezultat < 21 bod (teška kognitivna oštećenja= 0-17 bodova), (3) afazija, (4) bolan sindrom ramena i (5) hipertenzija zahvaćene ruke (≥ 2 prema Modified Ashworth Scale).

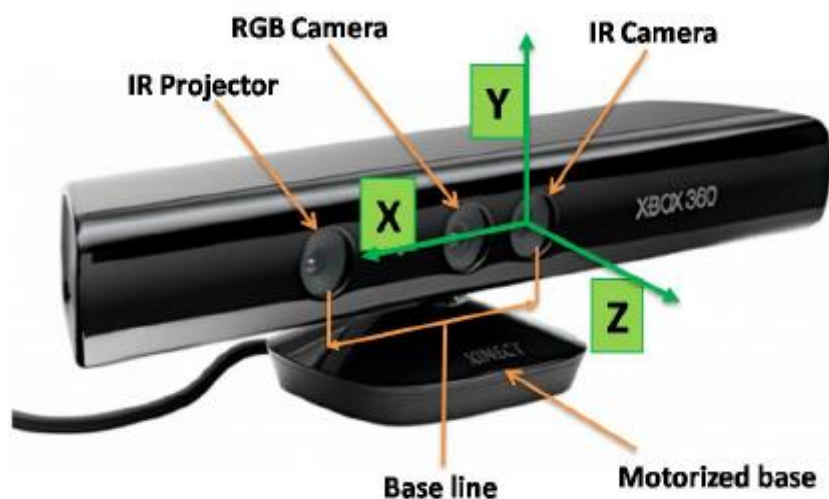
Sudionici su nasumice dodijeljeni terapijama, kako bi mjerili i usporedili učinak i vrijednost terapije između različitih tehnologija. Jedna je kombinirala konvencionalne metode rehabilitacije sa Armeo Spring robotskim treningom (Armeo grupa (AG); n=17), a druga se sastojala od treninga virtualne stvarnosti bazirane na Kinect sustavu (Kinect grupa (KG); n=25). Konvencionalan rehabilitacijski program trajao je 3-4 sata dnevno, 5 dana u tjednu (fizikalna terapija, radna terapija, neurofiziološki trening, logopedska terapija i druge) i terapije novim tehnološkim uređajima (Kinect ili Armeo robot) trajale su 45 minuta dnevno, sveukupno 10 treninga. Svu treninzi sastojali su se od niza motoričkih zadataka i programa vježbanja odabranog individualno za svakog sudionika. Svi sudionici sudjelovali su 45 minuta po danu u ukupno 10 intenzivnih terapijskih treninga koje je nadgledao radni terapeut i modificirao program vježbanja prema napretku svakog sudionika. Na početku svakog treninga, liječnik je pregledao ruku sudionika kako bi ispitao oporavak motoričkih funkcija i bol ili druge komplikacije. Svi su sudionici sjedili na stolici ili kolicima s pojasevima kako bi spriječili pomicanje trupa i prevenirali padanje (Adomavičienė i sur., 2019).

Glavne mjere ishoda korištene za procjenu oporavka gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara bile su: Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity (FMA-UE, 0= najniži rezultat; 66= najviši rezultat); tonus ramena, lakta i fleksije ručnog zgloba procijenjeni su pomoću

Modified Ashwprth Scale (MAS, raspon 0-4 boda); spretnost pokreta ruke procijenjena je Box and Block testom (BBT, broj kockica u 60 sekundi); Hand Tapping Score Test (HTS, rezultati 25 pokreta ruke). Mjeren je i aktivan opseg pokreta (ROM) ramena, lakta i zgloba te snaga stiska zahvaćene ruke mjerena je dinamometrom (prosjek snage stiska u kg). Za evaluaciju stupnja neovisnosti i potrebne pomoći tijekom izvedbe zadataka korištena je Modified functional Independence Measure (FIM, 6 stavki brige o sebi, max 42 boda), za mjerenje kognitivnog oštećenja Mini-Mental State Examination (MMSE, raspon $21 \geq 30$ bodova) i Addenbrooke's Cognitive Wxamination- Revised (ACE-R, max 100 bodova; viši rezultat predstavlja bolji ishod), a psiho-emocionalno stanje procijenjeno je pomoću Hospital Anxiety and Depression Scale (HAD, raspon od 0-21 bod, viši rezultat predstavlja veću razinu anksioznosti i depresije). (Adomavičienė i sur., 2019).



Slika 9 Armeo Spring robot



Slika 10 Kinect sistem

Rezultati

Studija je uključivala 42 pacijenta (srednja dob \pm standardna devijacija od $64,6 \pm 4,2$ godine) s hemiparezom sekundarnom ishemičnom (n=29) ili hemoragijskom moždanom udaru (n=13), koji su uzastopno sudjelovali u specijaliziranoj rehabilitacijskoj jedinici za razdoblje uslijed moždanog udara $8,69 \pm 4,27$ tjedana. U obje grupe dominirali su muški sudionici te zahvaćena desna ruka.

Svi rezultati su podijeljeni u tri važna dijela: funkcionalna neovisnost u aktivnostima svakodnevnog života, motoričke vještine gornjih ekstremiteta i kognitivne funkcije. Razina funkcionalne neovisnosti statistički se povećala u obje grupe, ali nakon Kinect-bazirane rehabilitacije, sudionici su pokazali višu razinu neovisnosti u aktivnostima brige o sebi nego nakon treninga robotom. Nisu pronađene značajne razlike između učinaka ovih tehnologija za oporavak motoričkih sposobnosti gornjih ekstremiteta. Prema Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity (FMA-UE) rezultatima, možemo tvrditi da su se rezultati pokretljivosti ruke, uključujući reflekse, stisak, izgled skupnih i svakog izoliranog pokreta, poboljšali u obje grupe (p- vrijednost $> 0,05$). Međutim, mišićni tonus kod fleksije lakta i zgloba, više se povećao u KG, što bi moglo ograničiti okretnost ruke. Stoga su se rezultati ponavljajućih pokreta unutar 60 sekundi (Hand Tapping Test) i Box and Block testa više povećali nakon treninga pomoću robota (p $> 0,05$). Snaga stiska ruke značajno se više oporavila kod AG zbog vidljivo nižeg mišićnog tonusa u zglobu i laktu, što je dopustilo sudionicima lakšu izvedbu ovih akcija. Sudionici su nakon Armeo treninga imali bolje kinematske odgovore u aktivnom opsegu pokreta pri ekstenziji i fleksiji ramena. Značajne statističke razlike pronađene su jedino u addukciji i abdukciji ramena (p $< 0,05$). Rotacijski opseg pokreta ramena poboljšao se nakon Kinect- baziranog treninga, dok se svaki opseg pokreta ramena poboljšao kod druge grupe. Primijećen je značajan porast u supinaciji lakta nakon Armeo robotskog treninga (p $< 0,05$). Rezultati pokreta zglobova nisu pokazali značajne razlike između treninga. Promjene u kognitivnom funkcioniranju pokazane su na rezultatima MMSE, ACE-R i HAD testova. Ukupne kognitivne promjene prema MMSE bile su statistički više kod AG (p $< 0,05$). HAD rezultati pokazali su da je depresija ostala nepromijenjena kod obje grupe (p $> 0,05$) i anksioznost se značajno više smanjila kod KG (p $< 0,05$) (Adomavičienė i sur., 2019).

3) Virtualna rehabilitacija funkcija gornjih ekstremiteta i neovisnosti za moždani udar: meta- analiza

Ciljevi ove studije bili su: (1) istražiti učinkovitost intervencija baziranih na VS u rehabilitacijskim programima za povratak funkcija gornjih ekstremiteta kod osoba s

posljedicama moždanog udara kroz sistematski pregled i (2) ispitati uspješnost intervencija VS kao djela rehabilitacijskog programa u poboljšanju funkcija gornjih ekstremiteta i neovisnosti u izvedbi vještina svakodnevnog života. Zatim su identificirane i prikazane intervencije VS koje su se pokazale učinkovitim (Ahn i Hwang, 2019).

Sredstva i metode

Prvo je provedena pretraga literature koristeći PubMed i EBSCO-host u razdoblju između 1. siječnja, 2007 i 31. kolovoza, 2017. Dvoje recenzentata pregledali su članke te su odabrali one relevantne koji će biti uključeni u studiju. Studije koje su objavljene na engleskom jeziku uključivale su odrasle pacijente s hemiparezom koja je rezultat moždanog udara tijekom akutne, subakutne i kronične faze; koristile su randomizirana kontrolirana ispitivanja; istražili su bilo koji oblik imerzivne ili ne-imerzivne intervencije VS te su koristili specifične mjere ishoda za procjenu funkcija gornjih ekstremiteta (Ahn i Hwang, 2019).

Za meta- analizu u ovoj studiji, kriteriji uključivanja bili su: (1) studija cilja na poboljšanje funkcija gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara koristeći intervencije bazirane na sustavu VS, (2) mjera ishoda je neovisnost u izvođenju aktivnosti svakodnevnog života i (3) studija mora koristiti potvrđene i standardizirane alate za procjenu s objektivnim jedinicama mjere kako bi odredili stupanj neovisnosti u izvođenju aktivnosti svakodnevnog života. Metodom sistematskog pregleda identificirano je 726 studija, od kojih su 692 imale nedovoljno podataka potrebnih za analizu. Stoga su 34 članka uključena u sistematski pregled od strane oba procjenjivača. Devet studija uključene su u meta-analizu. Podaci pribavljeni iz studija su: srednje vrijednosti i standardna devijacija, rezultati t-testa i p-vrijednosti. Za meta-analizu, metodološka kvaliteta svake studije procijenjena je koristeći Jadad skalu (Ahn i Hwang, 2019).

Za sistematski pregled korištena je PICOS metoda za opis sljedećih pet komponenata pregleda literature: P (pacijent), odrasli koji su dijagnosticirani s moždanim udarom; I (intervencija), sve vrste intervencija baziranih na VS; C (usporedba), rehabilitacijska intervencija za kontrolnu grupu i O (ishod), mjere ishoda za procjenu funkcija gornjih ekstremiteta i neovisnosti (Liberati i sur., 2009 prema Ahn i Hwang, 2019). U meta-analizi korištena je Comperhensive Meta- Analysis verzija 2.0 za analiziranje veličine učinka, statističke heterogenosti i publikacijske pristranosti u odabranim studijama (Ahn i Hwang, 2019).

Rezultati

Sistematski pregled studija

34 studije za sistematski pregled uključivale su randomizirana kontrolirana ispitivanja. Ukupno 1,507 pacijenata sa hemiplegičnim moždanim udarom bilo je uključeno u studije. Prosječni broj sudionika u intervencijskoj grupi bio je 678, a u kontrolnoj 829. Eksperimentalna grupa sastojala se od minimalno 5 sudionika i maksimalno 117, dok je kontrolna grupa imala najmanje 5 sudionika i najviše 268. Mjere korištene za procjenu funkcija gornjih ekstremiteta bile su: functional mobility assessment (FMA), Wolf motor function test (WMFT) i motor activity log (MAL). Za procjenu neovisnosti u izvedbi aktivnosti svakodnevnog života korišteni su Barthel index (BI) i functional independence measure (FIM). U 20 studija korišteni su sustavi VS koji koriste računala i video igre te oni s bilateralnim, ka cilju usmjerenim, dlan/ruka i s pojačanim feedback treninzima. Šest studija koristile su igre preko Wii i Xbox konzola, a dvije robote. Neke su studije koristile pametne rukavice i programe mobilnih telefona, transkranijalnu magnetsku stimulaciju, RehabMaster i YouGrabber virtualni sustav. Rezultati su pokazali da je intervencija virtualnom stvarnosti učinkovitija i pruža bolje rezultate od konvencionalnih metoda. (Ahn i Hwang, 2019).

Meta-analiza studija

Za meta-analizu korišteni su BI i FIM te je uključivala 698 sudionika sa hemiplegičnim moždanim udarom. Raspon broja sudionika u svakoj studiji bio je između 16 do 376 (Ahn i Hwang, 2019).

Slijedi prikaz studija uključenih u meta-analizu (n=9):

Studija i Jadad rezultat	Sudionici	Intervencija/ grupe	Terapija/ vrijeme	Mjere ishoda	Ishod
Piron i sur., 2010 prema Ahn i Hwang, 2019. Jadad: 4	n= 47 (e)n=27 (c)n= 20	Sustav VS baziran na motoričkom učenju Konvencionalna terapija	3 tjedna, 5 dana/tjedno, 1 h/dnevno	FMA, FIM, Kinematski ishodi	Obje rehabilitacijske terapije poboljšale su motoričku izvedbu i funkcionalnu aktivnost

Da Silva Cameirao i sur., 2011 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 3	n= 16 (e)n = 8 (c)n= 8	RGS Kontrolna	3 tjedne terapije po 20 min	BI, Motricity Index, mišićna snaga, FMA CAHAI	Rehabilitacijom RGS (Rehabilitation Gaming System) došlo je do funkcionalnog oporavka gornjih ekstremiteta
Turolla i sur., 2013 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 1	n=376 (e) (e)n=113 (c)n= 263	Kombinacija sustava VS i konvencionalne terapije Samo konvencionalna terapija za gornje ekstremitete	2h/ dnevno, 5 dana/tjedno 4 tjedna	FMA, FIM	Virtualna rehabilitacija pacijenata nakon moždanog udara čini se učinkovitija od konvencionalne intervencije
Choi i su., 2014 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 4	n= 20 (e)n=10 (c)n= 10	Komercijalna bazirana na igrama VS Konvencionalna radna terapija (RT)	30 min/dnevno, 4 tjedna	FMA, MFT, BBT, MBI, MMSE, Continuous performance test	Terapija putem VS bila je jednako učinkovita kao RT za oporavak motoričkih funkcija GE i funkcioniranje u svakodnevnom životu
Kiper i sur., 2014 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 3	n=44 (e)n= 23 (c)n= 21	RFVE Tradicionalna rehabilitacija	5 dana/tjedno, 4 tjedna	FMA, FIM, Kinematski test, Parametar	Neki pacijenti mogli bi imati koristi od RFVE programa za oporavak motoričkih funkcija GE
Shin i sur., 2014 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 4	n= 16 Rehab Master i RT n= 8, Samo RT n=8	RehabMaster intervencija plus konvencionalna radna terapija (RT)	30 min RehabMaster/dnevno, 2 tjedna 20 min RT+	FMA, MBI	RehabMaster je izvediv i siguran sustav VS za povećanje funkcija GE

		Samo RT	RehabMaster		kod pacijenata uslijed moždanog udara
Yin i sur., 2014 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 1	n= 23 (e)n= 11 (c)n= 12	Terapija VS za GE tijekom stajanja Konvencionalna terapija	30 min, 5 dana/tjedno, 2 tjedna	FMA, ARAT, MAL, FIM	Dodatni trening putem VS nije se pokazao superiorniji od konvencionalne terapije
Zheng i sur., 2015 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 3	n= 112 (e)n= 58 (c)n= 54	Nisko frekvencijski rTMS i trening VS, Sham rTMS i trening VS	6 dana/tjedno, 4 tjedna	FMA, WMFT, MBI, SF-36	Kombinirano korištenje nisko frekvencijskog rTMS-a i VS mogli bi efektivno poboljšati funkcije GE, aktivnosti svakodnevnog života i kvalitetu života
Ballester i sur., 2016 prema Ahn i Hwang, 2019 Jadad: 4	n= 40 (e)= 20 (c)= 20	Ka cilju usmjereno pojačanje pokreta u VS Isti protokol treninga, ali bez pojačavanja pokreta	30 min/dnevno, 6 tjedana	FMA, CAHAI, BI	Ovo poboljšanje praćeno je značajnim porastom korištenja ruke tijekom treninga kod eksperimentalne grupe

GE (gornji ekstremiteti); ARAT (action research arm test); BI (Barthel index); CAHAI (Chedoke arm and hand activity inventory); FIM (functional independence measure); FMA (Fugl-Meyer assessment); MAL (motor activity log); MBI (modified Barthel Index); MMSE (Mini.Mental State Examination); MMT (manual muscle testing); RGS (Rehabilitation Gaming System); RFVE (reinforced feedback in virtual environment); rTMS (repetitive transcranial magnetic stimulation); SF-36 (35-item short form health survey); VS (virtualna stvarnost); WMFT (Wolf motor function test) (Ahn i Hwang, 2019).

3.4. Virtualna stvarnost u Republici Hrvatskoj

Svijet virtualne stvarnosti još uvijek nije dovoljno istraženo i primijenjeno područje u Republici Hrvatskoj. Neka od područja unutar kojih je kratkotrajno primijenjena virtualna stvarnost su obrazovanje, terapija i najčešće u zabavne svrhe.

2017. godine Vipnet je osnovnoj školi Vugrovec-Kašina donirao naočale za virtualnu stvarnost, prijenosna računala i mobilne uređaje u svrhu poučavanja učenika o povijesti virtualne stvarnosti. Od rujna 2016. godine u školi se izvodi izborni predmet „ Virtualna povijest“ (Žugčić, 2017).

Ćosić i sur. (2002) proveli su istraživanje u Osijeku o primjeni virtualne stvarnosti u terapiji PTSP bolesnika-veterana domovinskog rata.

Centar zdravlja Panacea koji se nalazi u Poreču te je u suradnji s centrom zdravlja Harmonija, nudi opciju virtualne terapije za područje svladavanja fobija, PTSP-a, OKP-a, psihoze i drugih psihoemocionalnih stanja (Transpersonalna Psihologija, Duhovnost, Umjetnost, Prirodna i Kvantna Medicina, 2015).

2015 godine osnovana je tvrtka „Legame Studio d.o.o.“ u Zagrebu koja predstavlja prvi hrvatski studio virtualne stvarnosti s ciljem primjene i razvoja naprednih tehnologija povezanih s virtualnom stvarnošću. Studio se također bavi izradom virtualnog sadržaja – videa u 360°, 3D virtualnih simulacija te softverskih rješenja za njihovo prikazivanje. Tvrtka je već uspješno završila niz složenih projekata s istaknutim tvrtkama i institucijama u Hrvatskoj, stvorila značajne reference, te je postala poznata kao tvrtka s najvećim izborom usluga vezanih za tehnologiju virtualne stvarnosti. 137 Legame Studio otvorio je istoimeni studio VS u Savskoj cesti 54 u Zagrebu gdje se može rezervirati termin da bi se isprobala tehnologija virtualne stvarnosti (Legame studio, 2015)

Specijalna bolnica Arhithera je vodeći centar za fizikalnu medicinu, fizioterapiju i rehabilitaciju u Hrvatskoj i regiji. Nalazi se u Zagrebu te je svoj program pun konvencionalne terapije upotpunila suvremenom robotskom neurorehabilitacijom u kombinaciji sa sustavom virtualne stvarnosti. Na taj način omogućuje brži povratak motorike kod neuroloških i ortopedskih pacijenata, vraća im pokret i sposobnost samostalnog motoričkog funkcioniranja. DIEGO predstavlja napredan robotski uređaj koji pomoću višedimenzionalnih modula, kao što je 3D virtualna stvarnost, pomaže u rehabilitaciji ruke i ramena. Terapija 3D virtualnom stvarnosti omogućuje prikazivanje pokreta na ekranu računala i zajedno sa modulom Inteligentne kompenzacije ravnoteže (IGC) daje pacijentu priliku izvođenja izgubljenog pokreta od samog početka terapije (Arhithera specijalna bolnica, 2017).

4. ZAKLJUČAK

Studije prikazane u ovom radu nagovještavaju da smo jedan korak dalje prema cilju da će jednog dana osobe s motoričkim poremećajima primati terapiju kroz igranje zabavnih i izazovnih virtualnih igrica.

Neke od dokazanih prednosti ove metode su: ponavljanje, koje je vrlo važno za motoričko učenje i kortikalne promjene koje ono inicira; motivacija, koja je ključna za napredak te održiva kroz zanimljiv sadržaj; feedback, koji je u virtualnoj stvarnosti proširen i naglašen u odnosu na onaj iz stvarnog svijeta; virtualni učitelj, koji snažnim vizualnim inputom može pojačati učenje imitacijom. Izazovi koji se pojavljuju uključuju: nedovoljno kliničko prihvaćanje, negativan stav terapeuta prema tehnologiji, visoke cijene opreme i sigurnost telerehabilitacije.

Heterogenost populacije i mali uzorak sudionika u studijama primjene VS na motoričko funkcioniranje gornjih ekstremiteta djece i adolescenata s cerebralnom paralizom otežali su donošenje konačnog zaključka o utjecaju ove metode i superiornosti nad ostalim tradicionalnim metodama. Usprkos slabim dokazima i manama studija, VS je pokazala pozitivne učinke na oporavak motoričkog funkcioniranja.

Studija koja je koristila posebno dizajnirani sustav prilagođen korisniku zvan „Elements“, osim na motoričke funkcije fokusirala se i na kognitivne sposobnosti. Iskorišten je potencijal virtualne stvarnosti da poveća kognitivno planiranje preko dualnih zadataka, što je rezultiralo boljom generalizacijom naučenih vještina u svakodnevnom životu. Posebno dizajnirani sustav Elements koji pomaže u pojačanju procesa oporavka neuro-plasticiteta, pokazao se vrlo bitnim korakom za područje virtualne rehabilitacije motoričkih funkcija. Najveća učinkovitost i najbolji rezultati proizašli su iz primjene ovog sustava zajedno sa konvencionalnim metodama terapije, kao što su fizikalna i radna terapija. Primijenjena na taj način, VS koristeći ka cilju orijentirane i istraživačke zadatke za pokrete gornjih ekstremiteta, može pružiti veći oporavak motoričkih i kognitivnih funkcija nakon moždanog udara. Magnituda učinaka treninga, održivost naučenog prilikom follow-up studije i generalizacija, daju prilično uvjerljiv dokaz o kapacitetu VS kada je primijenjena ciljano i na pravi način.

Prilikom usporedbe sustava VS s robotskim sustavom rezultati su pokazali bolji utjecaj VS na oporavak funkcionalne neovisnosti osoba s posljedicama moždanog udara u aktivnostima brige o sebi zbog pojačanog feedbacka kojeg sustav nudi. Obje metode utječu na napredak u motoričkim funkcijama gornjih ekstremiteta i kognitivnim funkcijama, ali bez značajne razlike u intenzitetu utjecaja.

U prikazanom sistematskom pregledu i meta analizi studija fokus je stavljen na studije koje su istraživale funkcije gornjih ekstremiteta i neovisnost prilikom izvedbe svakodnevnih aktivnosti osoba s posljedicama moždanog udara. Zaključeno je da sustav virtualne stvarnosti pruža pozitivne rezultate unutar ovih područja. Rezultati sistematskog pregleda pokazali su bolju učinkovitost VS od konvencionalnih metoda, odnosno značajniji oporavak motoričkih funkcija i neovisnosti. Također, pokreti trenirani u VS koji blisko oponašaju zadatke svakodnevnog života maksimiziraju efekte treninga. S obzirom na limitirane podatke iz meta-analize ne možemo doći do zaključka o boljem utjecaju VS na oporavak neovisnosti u aktivnostima svakodnevnog života nakon moždanog udara naspram drugih pristupa. VS svakako pokazuje pozitivan utjecaj na psiho-emocionalno stanje osobe te uspijeva održati pažnju, interes, motivaciju i zadovoljstvo osobe tijekom cijele terapije.

Podaci o primjeni ove metode u Lijepoj našoj vrlo su slabi, gotovo nepostojeći. Specijalna bolnica Arithera jedini je dokaz pronađen u upotrebi sustava virtualne stvarnosti u rehabilitacijskim programima koje nudi.

Definitivno postoji potreba za daljnjim istraživanjem ove teme kako bi se mogla postići sigurna implementacija u područje rehabilitacije motoričkih funkcija gornjih ekstremiteta.

Daljnje studije trebale bi se fokusirati na uvođenje većeg broja sudionika, korištenje prikladne terapijske metodologije za procjenu utjecaja metode, bolju sveukupnu organizaciju studija i primjenu više sustava prilagođenih terapiji ciljane skupine.

Rezultati dosadašnjih studija mogu se koristiti kao baza za primjenu rehabilitacije virtualnom stvarnosti za oporavak motoričkih sposobnosti gornjih ekstremiteta osoba nakon moždanog udara ili cerebralne paralize.

LITERATURA

1. Adomavičienė A. i sur. (2019). Influence of New Technologies on Post-Stroke Rehabilitation: A Comparison of Armeo Spring to the Kinect System. *Medicina*, 55(4), 1-12. doi: 10.3390/medicina55040098
2. Ahn, S. i Hwang, S. (2019). Virtual rehabilitation of upper extremity function and independence for stroke: a meta-analysis. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(3), 358-369.
- 3.
4. Alqahtani, A.S., Daghestani, L.F. i Ibrahim, L.F. (2017). Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: A Survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8 (6), 77-89.
5. Arhitera specijalna bolnica (2017). Preuzeto s <https://robotska-neurorehabilitacija.eu/> (11.07.2019)
6. Balaguer, F. i Mangili, A. (1991). Virtual environments. *New Trends in Animation and Visualization*, 91-106.
7. Bamodu, O. i Ye, X. (2013). Virtual Reality and Virtual Reality System Components. *Semantic Scholar*. Preuzeto s <https://www.semanticscholar.org/paper/Virtual-Reality-and-Virtual-Reality-System-Bamodu-Ye/ee45af43d1373f2564c49a0c15502fea5f67d8e3> (10.06.2019)
8. Barić, R. (2006). *Utjecaj izvora informacija na uspjeh u motoričkom učenju: verbalna uputa, vizualno modeliranje i povratna informacija o izvedbi* (Diplomski rad). Filozofski fakultet, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu.
9. Bezić, T. (2017). *Primjena virtualne stvarnosti u grafičkoj tehnologiji i izrada video zapisa koristeći principe 3D grafike* (Završni rad). Grafički fakultet, Zagreb
10. Bilodeau, E.A., i Bilodeau, I.M. (1962). Motor skills learning. *Annual Reviews of Psychology*, 13, 243-280.
11. Boas, Y.A.G.V. (2012). Overview of Virtual Reality Technologies. *Semantic Scholar*. Preuzeto s <https://www.semanticscholar.org/paper/Overview-of-Virtual-Reality-Technologies-Boas/4214cb09e29795f5363e5e3b545750dce027b668> (18.06.2019)

12. Bonnier, B., Eliasson, A. i Krumlinde-Sundholm, L. (2006): Effects of constraint-induced movement therapy in adolescents with hemiplegic cerebral palsy: A day camp model. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 13 (1), 13-22.
13. Brey, P. (2008). Virtual Reality and Computer Simulation. U K.E. Himma i H.T. Tavani (Ur.), *Handbook of Information and Computer Ethics* (str. 361-384). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
14. Brockwell, H. (2016, 03. travnja). Forgotten genius: the man who made a working VR machine in 1957. *TechRadar*. Preuzeto s <https://www.techradar.com/news/wearables/forgotten-genius-the-man-who-made-a-working-vr-machine-in-1957-1318253> (18. 06. 2019)
15. Buchanan, P. A. (2012). The Feldenkrais Method of Somatic Education. U A. Bhattacharya (ur.), *A Compendium of Essays on Alternative Therapy* (147-172). doi: 10.5772/30885
16. Burdea, G. i Coiffet, P. (1995). *Virtual Reality Technology*. New Jersey, Wiley- IEEE Press.
17. Burdea, G. (2003). Key Note Address: Virtual Rehabilitation Benefits and Challenges. *Methods of Information in Medicine*, 42(5), 519- 23.
18. Carr, K. i England, R. (1995). *Simulated and virtual realities: Elements of perception* (1.izd.). Ujedinjeno Kraljevstvo: Routledge.
19. Charles, J., Wolf, S., Schneider, J. i Gordon, A. (2006): Efficacy of a child-friendly form of constraint-induced movement therapy in hemiplegic cerebral palsy: a randomized control trial. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48, 635-642.
20. Cherry, K., Scott, D.J.M., Butcher, T., i sur. (2018). Rehabilitation via HOME Based gaming exercise for the Upper-limb post Stroke (RHOMBUS): protocol of an intervention feasibility trial. *BMJ Open*, 8 (11), 1-12. doi: 10.1136/bmjopen-2018-026620.
21. Concalves, M.G. i sur. (2018). Effects of virtual therapy on upper limb function after stroke and the role of neuroimaging as a predictor of a better response. *PubMed*, 76(10), 654-662. doi: 10.1590/0004-282X20180104.
22. Ćosić, K. i sur., (2002). Primjena tehnologija virtualne stvarnosti u terapiji PTSP bolesnika-veterana domovinskog rata. *CROSBI, Hrvatska znanstvena bibliografija*. Preuzeto s <https://www.bib.irb.hr/131025> (10.07.2019)

23. Flash, T., i Hogan, N. (1985). The coordination of the arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *Journal of Neuroscience* 7, 1688-1703.
24. Gobetti, E. i Scateni, R. (n.d.). Virtual Reality: Past, Present, and Future. *CRS4*. Preuzeto s <http://www.crs4.it/vic/data/papers/vr-report98.pdf> (16. 07. 2019)
25. Holden, M., i Dyar, T. (2002). Virtual environment training: a new tool for neurorehabilitation. *Neurology report* 26, 62-71.
26. Holden, M.K. (2005). Virtual Enviroments for Motor Rehabilitation: Review. *CyberPsychology & Behavior*, 8(3), 187-211.
27. Horvatić, J., Joković Oreb, I. i Pinjatela, R. (2009): Oštećenja središnjeg živčanog sustava. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 45 (1), 99-110.
28. Hrastovčak, T. (2016, 23. veljače). Vodič kroz povijest virtualne stvarnosti. *PLANB*. Preuzeto s <http://planb.hr/mali-vodic-kroz-povijest-virtualne-stvarnosti/> (18.06.2019)
29. Jurjević, T. (2017). *Virtualna stvarnost i uređaji za reprodukciju virtualne stvarnosti* (Završni rad) . Studijelektrotehničkei komunikacijske tehnologije u pomorstvu, Dubrovnik.
30. Kessel, A. (2009, 18. lipnja). Interactive Motion Technologies: Physical Therapy Robotics. *SingularityHub*. Preuzeto s <https://singularityhub.com/2009/06/18/interactive-motion-technologies-physical-therapy-robotics/> (16. 07.2019)
31. Kosinac, Z. (1999). *Morfološko-motorički i funkcionalni razvoj djece predškolske dobi: udžbenik za odgajatelje i učitelje*. Split: Udruga za šport i rekreaciju djece i mladeži grada Splita.
32. Kosslyn, S.M. (1994). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. Preuzeto s https://www.researchgate.net/publication/30871774_Image_and_Brain_The_Resolution_of_the_Imagery_Debate (15.05.2019)
33. Krakauer, J.W. (2006). Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. PubMed. Preuzeto s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16415682> (17.07.2019)
34. Kralj, A. (2010). *Interaktivno upravljanje sadržajem virtualne scene: nadzorno upravljački sustav* (Diplomski rad). Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb.

35. Kuban, K.C. i Leviton, A. (1994). Cerebral palsy. *The New England journal of medicine*, 330 (3), 188-95.
36. Leburić, A. i Sladić, M. (2004). Metode istraživanja interneta kao novoga medija. *ACTA IADER*, 1, 45-64.
37. Legame studio (2015). Preuzeto s <https://www.legame.hr/> (11.07.2019)
38. Lorger, M. (2014). Motoričko učenje u predškolskoj dobi. U I. Prskalo, A, Jurčević Lozančić, Z. Braičić (Ur.) *Zbornik radova međunarodnog znanstveno-stručnog simpozija 14. dani Mate Demarina „Suvremeni izazovi teorije i prakse odgoja i obrazovanja“ Topusko* (str. 169 – 176) Zagreb: Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
39. Masgutova, S. (2008): Masgutova method of reflex integration for children with cerebral palsy. *Svetlana Masgutova Educational Institute® for Neuro-Sensory-Motor and Reflex Integration, SMEI*. Preuzeto s http://masgu.com/wp-content/uploads/2016/02/article_valerie-cp.pdf (16. 07. 2019)
40. Matijević, V., Šečić, A., Mašić, V., Šunić, M., Kolak, Ž., Znika, M. (2013): Virtual reality in rehabilitation and therapy. *Acta Clin Croat*, 52 (4), 453-457.
41. McKenna, M. i Zeltzer, D. (1992). Three Dimensional Visual Display Systems for Virtual Environments. *Journal Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(4), 421-458.
42. Morgan, A. (2019, 29. srpnja). 10 Best VR Gloves. *Glovesmag*. Preuzeto s <https://www.glovesmag.com/vr-gloves/> (10. 08. 2019).
43. Nabava.net (2001). Preuzeto s <https://www.nabava.net/virtualna-stvarnost> (10.07.2019)
44. Niezgodzka, K., Sadowska, L., Kowalewska, J., Choinska, A. (2015). Neuro-motor facilitation in children with cerebral palsy using the Masgutova method. *Svetlana Masgutova Educational Institute® for Neuro-Sensory-Motor and Reflex Integration, SMEI*. Preuzeto s http://masgutovamethod.com/uploads/articles/source/Niezgodzka-NeuroMotor_Fac_w_Children_w_CP--6-4-2015-CEREBRAL_PALSY.pdf (15. 07. 2019)
45. Novák-Marcinčin, J. (2010). Hardware devices used in virtual reality technologies. *Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca*. Preuzeto s <http://www.nordtech.ubm.ro/issues/2010/2010.01.09.pdf>. (15.07.2019).

46. Onyesolu, M.O. i Eze, F.U. (2011). Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications. U M. Schmidt (ur.), *Advances in Computer Science and Engineering* (53-70). doi: 10.5772/15529
47. Pandžić, I.S. i sur. (2011). *Virtualnaokruženja: interaktivna 3Dgrafika i njeneprijemne*. Zagreb: Element.
48. Potić, S., Nedović, G., i Macanović, N. (2016). Koncept motoričkog učenja i njegova primjenjivost u radu sa osobama sa invaliditetom. *Beogradska defektološka škola*, 22(3), 73–89.
49. Ravi, D.K., Kumar, N. i Singhi, P. (2017). Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy*, 103, 245-258.
50. Rogers, J.M. i sur. (2019). *Elements* virtual rehabilitation improves motor, cognitive, and functional outcomes in adult stroke: evidence from a randomized controlled pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16 (1), 1-13. Preuzeto s <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-019-0531-y> (25.08.2019)
51. Sigur, D. (2014). Virtualnastvarnost- tehnologijabudućnosti. *SP sistemi*. Preuzeto s <http://www.spsistemi.hr/column/virtualna-stvarnost-tehnologija-buducnosti/> (10.06.2019).
52. Transpersonalna Psihologija, Duhovnost, Umjetnost, Prirodna i Kvantna Medicina (2015). Preuzeto s <http://connypetodenes.com/hr/> (10.07.2019)
53. Udruga osoba s cerebralnom i dječjom paralizom Rijeka (n. d.). *Cerebralna paraliza*. Preuzeto s <http://www.cdp-ri.hr/cerebralna-paraliza.htm> (13. 06. 2019)
54. UKEssays(2018, studeni). Virtual Reality A Modern Technology Media Essay. Preuzeto s <https://www.ukessays.com/essays/media/virtual-reality-a-modern-technology-media-essay.php> (16.06.2019)
55. Vafadar, M. (2013). Virtual Reality: Opportunities and Challenges. *International Journal of Modern Engineering Research*, 3 (2), 1139-1145.
56. Vince, J. (1998). *Essential Virtual Reality fast: How to Understand the Techniques and Potential of Virtual Reality* (1. izd.). London, Springer-Verlag London.
57. Virtual Reality Society (2017). Preuzeto s <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html> (15.06.2019)

58. Vrhar, K. (2017). *Potencijalkorištenjakonceptavirtualnestvarnosti u kontekstumobilnogposlovanja*(Diplomski rad). Ekonomskifakultet, Split
59. Zellner, D.A., Bartoli, A.M. i Eckard, R. (1991). Influence of color on odor identification and liking ratings. *NCBI*, 104 (4), 547-561. Preuzeto s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1793126>(13. 06. 2019)
60. Žugčić, D. (2017, 16. listopada). NASTAVA U VIRTUALNOJ STVARNOSTI O staroj Grčkoj učili kroz video igru "Minecraft", o Egiptu kroz igru "Mummy maker". *Jutarnji list*. Preuzeto s <https://www.jutarnji.hr/biznis/tvrtke/nastava-u-virtualnoj-stvarnosti-o-staroj-grckoj-ucili-kroz-video-igru-minecraft-o-egiptu-kroz-igru-mummy-maker/6653763/> (10. 07.2019)

POPIS TABLICA:

Tablica 1: Prikaz studija o utjecaju VS na motoričko funkcioniranje djece/adolescenata sa CP

Tablica 2: Prikaz studija o utjecaju VS na posljedice moždanog udara; meta-analiza

POPIS SLIKA:

Slika 1:Sensorama uređaj. Preuzeto s <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>

Slika 2: „Domoklov mač“. Preuzeto s <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>

Slika 3: HDM i DataGlove. Preuzeto s https://en.wikipedia.org/wiki/Wired_glove

Slika 4:BOOM uređaj. Preuzeto s <https://www.slideshare.net/shaaileen/virtual-reality-8104825>

Slika 5: CAVE. Preuzeto s <https://www.themarketingtechnologist.co/virtual-reality-connecting-unity-to-the-cave/>

Slika 6: Oculus Rift. Preuzeto s <https://www.virginmegastore.ae/electronics-accessories/wearable-tech/smart-glasses-virtual-reality/oculus-rift-vr-touch-vr-headset-black/p/347162>

Slika 7: Osnovna petlja principa rada VS. Preuzeto s <file:///C:/Users/Daniel/Desktop/DIPLOMSKI/476805.diplomski-68-Kralj.pdf>

Slika 8:Primjeri sustava Elements a) Bases zadatak b) Squiggles zadatak. Preuzeto s <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-019-0531-y>

Slika 9: Arneo Spring robot. Preuzeto s <https://www.pinterest.de/pin/741123682401991741/>

Slika 10: Kinect sistem. Preuzeto s https://www.researchgate.net/figure/Kinect-sensor-and-coordinate-system-taken-from-Garcia-and-Zalevsky-2008_fig1_236962544