



Primena sistema virtualne realnosti u tretmanu motornih poremećaja kod dece sa cerebralnom paralizom

Saša S. Stanisavljević*, Goran M. Nedović

Univerzitet u Beogradu – Fakultet za specijalnu edukaciju i rehabilitaciju, Beograd, Srbija

Uvod: Virtuelna realnost predstavlja kompjuterski generisanu interaktivnu simulaciju stvarnosti koja pruža širok dijapazon mogućnosti za kreiranje delotvornih terapijskih programa. Upotreba sistema virtualne realnosti u rehabilitaciji dece sa cerebralnom paralizom je relativno novijeg datuma. *Cilj:* Cilj ovog preglednog rada je da, na osnovu dostupne literature, ustanovi nivo efikasnosti rehabilitacionih intervencija zasnovanih na sistemima virtualne realnosti u tretmanu motornih poremećaja kod dece sa cerebralnom paralizom. *Metode:* Na osnovu inicijalne pretrage identifikovano je 63 naučna rada (istraživačka izveštaja). Primenom kriterijuma selekcije izdvojeno je devet radova koji su ispunjavali zadate kriterijume i time ušli u dalji proces analize. Posebna pažnja prilikom analize radova posvećena je: ishodima terapijskih procedura, odnosno postignutim rezultatima, kao i analizi odabira sistema virtualne realnosti koji će se koristiti u rehabilitaciji i pristupačnosti ovih sistema za komercijalnu i kliničku primenu. *Rezultati:* Rezultati analize nivoa efikasnosti rehabilitacionih intervencija dali su kontradiktorne nalaze. Pored studija koje svedoče o nedvosmisleno pozitivnim efektima primene sistema virtualne realnosti u rehabilitaciji dece sa cerebralnom paralizom, postoje i one u kojima je evidentno da taj efekat izostaje. *Zaključak:* Opšti zaključak ovog rada je da sistemi virtualne realnosti imaju veliki potencijal za primenu u oblasti rehabilitacije motornih poremećaja, ali i da ova oblast još uvek nije dovoljno istražena i zahteva dalje angažovanje kako bi se napravio korak više u cilju opravdavanja ili osporavanja njihove primene.

Ključne reči: virtuelna realnost, motorika, rehabilitacija, cerebralna paraliza

* Student doktorskih studija

Korespondencija: Saša Stanisavljević, stanisavljevic.sasa93@gmail.com,
das2020-5003@fasper.bg.ac.rs

Uvod

Pod pojmom cerebralna paraliza (CP) podrazumeva se kategorija neprogresivnih neuroloških poremećaja koji se javljaju po rođenju ili u ranom detinjstvu i imaju trajne posledice u domenu motoričkog, ali i kognitivnog, perceptivnog, senzornog i bihevioralnog razvoja i funkcionisanja (Rosenbaum et al., 2006).

Pravovremenom i ranom terapijskom intervencijom moguće je ublažiti i korigovati motoričke smetnje i poremećaje. Postoji širok spektar intervencija koje se smatraju efikasnim u tretmanu CP, a neke od njih su: fizikalna terapija, okupaciona terapija, medikamentna terapija, hirurške procedure, odnosno operativni tretman i primena ortopedskih pomagala. Fizikalna terapija zauzima centralno mesto u tretmanu jer pozitivno utiče na posturu, ravnotežu, pokretljivost, snagu i sveukupnu funkcionalnost osobe. Međutim, ovakav pristup deci može biti monoton kada se primenjuje duži vremenski period (Amirmudin et al., 2019; Christy et al., 2012; Franki et al., 2012; McCoy et al., 2020; Nicolini-Panisson et al., 2018; Ravi et al., 2017). S druge strane, danas se informacione tehnologije sve više primenjuju u cilju unapređenja zdravlja i poboljšanja procesa rehabilitacije (Ayed et al., 2019). S tim u vezi opisan je veći broj pristupa koji kombinuju tradicionalne metode i tehnike sa sistemima informacionih tehnologija u rehabilitaciji. Jedan od pristupa kojem se u protekle dve decenije posvećuje sve veća pažnja jesu programi rehabilitacije zasnovani na sistemima virtuelne realnosti (Masseti et al., 2018).

Virtuelna realnost se definiše kao primena interaktivne simulacije kreirane pomoću kompjutera. Objekti i dešavanja u virtuelnoj realnosti izgledaju, zvuče i deluju slično onima u realnom okruženju. Virutelni objekti su na raspolaganju korisniku da ih pomera i njima manipuliše i da na taj način stekne utisak „virtuelne prisutnosi” u projektovanoj simulaciji. Primena sistema virtuelne realnosti u rehabilitaciji zasnovana je na tome što ovi sistemi pružaju podsticajne i motivišuće uslove za aktivno učenje, koji su istovremeno izazovni i bezbedni. Terapeuti su u mogućnosti da kreiraju prilagođeno virtuelno okruženje u kojem se postižu različiti terapijski ciljevi, dok su težina zadatka, kao i tip i količina fdbeka individualizovani (Weiss et al., 2014). Pored toga, kada je osoba uključena u trening putem virtuelne realnosti aktiviraju se prefrontalne i parijetalne kortikalne oblasti i druge mreže u kori velikog mozga odgovorne za motoričke funkcije. Aktiviranje ovih delova mozga može biti sastavni deo rekonstrukcije neuronskih mreža u korteksu i na taj način može uticati na pospešivanje motoričkih sposobnosti (Mao et al., 2014). Takođe, primenom sistema virtualne realnosti korisnik se izlaže obilju senzornih informacija. Posredstvom senzornih informacija kojima je osoba izložena može se uticati na motorički output i inicijaciju pokreta (Potić i Nedović, 2019). Poznato je i da se neuroni ogledala (mirror neurons) aktiviraju kako prilikom izvođenja neke motorne aktivnosti, tako i prilikom posmatranja, zamišljanja ili slušanja iste te

aktivnosti. Aktiviranje upravo ovih neuronskih mreža smatra se medijatorom prilikom ponovnog učenja u slučajevima oštećenja kortikalnih motornih oblasti. Drugim rečima, mehanizam neurona ogledala predstavlja fiziološku osnovu za motoričku memoriju i motoričko učenje. Neuroni ogledala mapiraju posmatranu ciljnu aktivnost na slikovit (predstavan) i kinematički način. Na osnovu toga se smatra da se primarni motorni korteks može stimulisati implementacijom virtuelne realnosti (Kerem et al., 2014). Tako se, pored tretmana CP, mogu naći dokazi o primeni virtuelne realnosti u rehabilitaciji drugih bolesti i stanja, kao što su: moždani udar, traumatske povrede mozga i kičmene moždine, amputacije ekstremiteta, razvojni poremećaj koordinacije, Daunov sindrom, Parkinsonova bolest, multipla skleroza i brojni drugi (Aida et al., 2018; Cavalcante Neto et al., 2019; De Araújo et al., 2019; Dockx et al., 2016; Gómez Álvarez et al., 2018; Laver et al., 2017; Maggio et al., 2019; Osumi et al., 2019).

Osim rehabilitacijskih procedura, sistemi virtuelne realnosti mogu predstavljati značajan instrument prilikom procene motoričkog statusa jer sistem sa velikom preciznošću beleži sve potrebne parametre, a mogu se primenjivati i u cilju vršenja trenutnih korekcija, posebno na nivou posture i položaja određenih delova tela, zahvaljujući fidbeku koji je dostupan i korisniku i terapeutu u realnom vremenu (Perez-Marcos et al., 2012; Van Gelder et al., 2017). Potvrđeno je da motorički obrasci ponašanja kod dece sa CP obiluju pokretima sa greškama u izvođenju motoričkih akcija ili se javlja omisija pokreta (Potic i Nedović, 2016). Međutim, istraživanja pokazuju da su deca sa CP, na osnovu biofidbeka koji je pružao avatar u virtuelnoj realnosti, bila u stanju da trenutno prilagode obrazac hoda, postignu veću ekstenziju u zglobu kuka i kolena, prilagode položaj i jačinu potiska skočnog zgloba, kao i dužinu hoda (Booth et al., 2019; Van Gelder et al., 2017).

Cilj ovog preglednog rada je da, pregledom dostupne literature, ukaže na efikasnost rehabilitacionih intervencija zasnovanih na sistemima virtuelne realnosti u tretmanu motornih poremećaja kod dece sa CP.

Metode

Za pretraživanje literature korišćen je PubMed pretraživač. Pretraga je sprovedena na osnovu ključnih reči „virtual reality”, „rehabilitation”, „cerebral palsy”, IREX, „Armeo” i „robotics”. Uključivala je radove publikovane od 2017. godine. Inicijalnom pretragom identifikovano je 63 rada. Na osnovu analize naslova i sažetaka radova odbačeni su pregledni radovi i oni koji nisu bili usmereni na rehabilitaciju u domenu motoričkih funkcija ($n = 40$). Za preostala 23 rada analiza je vršena na osnovu celokupnog teksta, a primenjeni su odabrani kriterijumi selekcije. Kriterijumi za uključivanje radova u analizu su sledeći: u pitanju je izveštaj o sprovedenom istraživanju; istraživanje se odnosi na primenu virtuelne realnosti u rehabilitaciji motoričkih funkcija; uzorak istraživanja čine deca sa CP; uzrast je 0–18 godina; u istraživanju su korišćeni objektivni instrumenti procene; procedura istraživanja

podrazumeva kontinuiran tretman (trajanje minimum nedelju dana). Kriterijumi za isključivanje radova iz dalje analize bili su: u tretmanu je fokus na kognitivnim funkcijama; rad predstavlja nacrt budućeg istraživanja; rad prikazuje funkcionalnost sistema virtuelne realnosti, a ne njihov uticaj na motoričke funkcije; fokus u radu je na stavovima stručnjaka, a ne na objektivnim instrumentima procene; deo uzorka ne čine deca sa CP; uzorak uključuje i ispitanike iznad 18 godina; rad prikazuje trenutne efekte virtuelne realnosti bez ponovljenih intervencija. Nakon primene opisanih kriterijuma selekcije u dalju analizu uvršteno je devet radova. Prilikom analize, osim ishodima terapijskih procedura, odnosno postignutim rezultatima, posebna pažnja posvećena je analizi odabira sistema virtuelne realnosti i pristupačnosti sistema virtuelne realnosti za komercijalnu i kliničku primenu.

Rezultati sa diskusijom

Prikaz najbitnijih parametara analiziranih radova predstavljen je u Tabeli 1.

Ni u jednoj analiziranoj studiji autori nisu ispitivali povezanost pola i uzrasta ispitanika sa efektima primene rehabilitacione procedure, ili makar o tim nalazima nisu izvestili.

Prilikom analize radova izdvojene su značajne dimenzije na osnovu kojih treba sagledati rehabilitacione procedure u virtuelnoj realnosti namenjene deci sa CP: ishodi terapijskih procedura u domenu unapređivanja motoričkih funkcija; odabir sistema virtuelne realnosti koji se primenjuju i pristupačnost sistema virtuelne realnosti za komercijalnu i kliničku primenu.

Ishodi terapijskih procedura

Prva značajna dimenzija opravdanosti upotrebe sistema virtuelne realnosti u rehabilitacione svrhe, koja je podvrgnuta analizi, ishod je intervencije u domenu unapređenja motoričkih sposobnosti. U tom smislu, u okviru analiziranih studija dolazimo do različitih zaključaka. S jedne strane ishodi jednog broja studija su nedvosmisljeno pozitivni, a s druge, u nekim studijama pozitivni ishodi procedure izostaju.

Galjardi i saradnici (Gagliardi et al., 2018) koristili su interaktivni sistem za procenu hoda u realnom vremenu (GRAIL) sa ciljem da utvrde efekte primene ovog sistema na ukupnu sposobost i motoričke obrasce hoda dece sa CP. Uzorak istraživanja činilo je 16 ispitanika sa CP uzrasta 7–16 godina. Intervencija je podrazumevala 18 sesija tokom četiri nedelje, svaka sesija je trajala 30 minuta. Rezultati istraživanja su pokazali da postoji statistički značajna razlika u postignućima u okviru kategorija D i E na Skali procene grubih motoričkih sposobnosti (GMFM 88) (GMFM-88 $p = .041$; GMFM D $p = .041$; GMFM E $p = .017$), kao i statistički značajna razlika u izdržljivosti ispitanika merenoj šestominutnim testom hoda (6MWT) ($p = .026$).

Tabela 1*Pregled analiziranih studija*

Istraživanje	Uzorak	Trećirana oblast motoričkih funkcija	Intervencija	Merni instrument	Rezultati
Gagliardi et al., 2018.	16 ispitanika 10 M i 6 Ž 7–16 god.	Hod	GRAIL 18 seansi (po 30 min) tokom 4 nedelje	GMFM 88 6MWT	Značajan napredak na GMFM u kategorijama D i E, značajan napredak na 6MWT, bez razlika u pogledu utrošene energije
Arnoni et al., 2019.	15 ispitanika EG 6 M i 1 Ž KG 6 M i 2 Ž 5–14 god.	Grube motoričke sposobnosti	Xbox Kinect 360 i/ili konvencionalna terapija 2 puta nedeljno tokom 8 nedelja (50 min po sensu)	GMFM 88	Značajna razlika pronađena je na GMFM u kategorijama D i E za eksperimentalnu grupu
Jung et al., 2018.	4 ispitanika 2 M i 2 Ž 8–10 god.	Hod, ravnoteža i pokretljivost	Xbox Kinect 360 3 puta nedeljno tokom 4 nedelje (ukupno 12 seansi po 40 min)	SMC, PBS, TUG, FMS i 6MWT	Ispitanik I – napredak na PBS i TUG Ispitanik II – napredak na SMC, PBS, TUG i FMS Ispitanik III – napredak na SMC, TUG, FMS i 6MWT Ispitanik IV – napredak na SMC, PBS, TUG, FMS i 6MWT
Meyns et al., 2017.	11 ispitanika 4 M i 7 Ž EG 4 KG 7 5–18 god	Ravnoteža	Nintendo Wii 3 puta nedeljno po 30 min i/ ili konvencionalna terapija (2 sata fizikalne terapije i 2 sata pasivnog istezanja) 5 puta nedeljno do otpusta iz bolnice	TMSC	Napredak vidljiv u obe grupe, ali veći kod EG

Mills et al., 2019.	11 ispitanika EG 5 KG 6 7–17 god.	Postularna mišićna kontrola	IREX 60 min treninga 5 uzastopnih dana i bez intervencije u KG	Kompiuterski beleženi parametri posture i ravnoteže	Nisu uočeni efekti intervencije
Sahin et al., 2020.	60 ispitanika EG 20 M i 10 Ž KG 17 M i 13 Ž 7–16 god.	Grube i fine motoričke sposobnosti	Xbox Kinect 360 i/ili tradicionalna okupaciona terapija 16 tretmana od po 45 min tokom 8 nedelja (2 tretmana nedeljno – ukupno 720 min)	BOTMP-SF WeeFIM	Značajno veći napredak na obe skale procene za EG
Levac et al., 2018.	11 ispitanika EG 5 KG 6 7–18 god.	Grube motoričke sposobnosti i pokretljivost	IREX 1 sat dnevno 5 uzastopnih dana i/ili Xbox Kinect 360 (u kućnim uslovima) 30 min dnevno 5 dana u nedelji tokom 6 nedelja	GMFM-CM 6MWT	KG pokazala napredak na GMFM-CM skali, EG pokazala lošije rezultate na 6MWT nakon intervencije, ali su se rezultati vratili na početni nivo nakon 2 meseca Nisu pronađene statistički značajne razlike među grupama
Kassee et al., 2017.	6 ispitanika EG 3 KG 3 7–12 god.	Sposobnost gornjih ekstremiteta	Nintendo Wii ili trening sa otporom (opterećenjem) najmanje 40 min dnevno 5 dana u nedelji tokom 6 nedelja	MA2 Procena jačine stiska	Napredak kod EG na MA2 skali (ali kod jednog ispitanika se gubi nakon 4 nedelje), jačina stiska se poboljšala kod 3 ispitanika (2 KG i 1 EG) Pronađene su statistički značajne razlike na obe skale procene na testiranju nakon 12 nedelja intervencije u korist EG
El-Shamy, 2018.	30 ispitanika 20 M i 10 Ž EG 15 KG 15 6–8 god.	Sposobnost gornjih ekstremiteta	Armeo ili konvencionalna terapija 45 min 3 puta nedeljno tokom 12 nedelja	MAS QUEST	

Napomena: M = muški pol; Ž = ženski pol; EG = eksperimentalna grupa; KG = kontrolna grupa; GRAIL = Gait Real-time Analysis Interactive Lab; GMFM 88 = Gross Motor Function Measure; 6MWT = 6 minute walk test; SMC = Selective Motor Control; PBS = Pediatric Balance Scale; TUG = Timed Up and G; FMS = Functional Mobility Scale; TMSC = Trunk Control Measurement Scale; IREX = Interactive Rehabilitation Exercise System; BOTMP-SF = Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency - Short Form; WeeFIM = Wee Functional Independence Measure; GMFM-CM = Gross Motor Function Measure Challenge Module; MA2 = Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function-2; Armeo = Armeo sistem; MAS = Modified Ashworth Scale; QUEST = Quality of Upper Extremity Skills Test

U skladu sa rezultatima navedene studije autori su izneli zaključak da je ovakvom terapijskom procedurom moguće uticati na sposobnost i obrasce hoda dece sa CP. Rezultati istraživanja čak govore u prilog tezi da je obrasce hoda dece sa CP moguće modifikovati i nakon završetka ranog razvojnog perioda. Ovi nalazi su podudarni sa rezultatima studije Van Geldera i saradnika (Van Gelder et al., 2017), koji su došli do zaključka da je kod dece sa CP prisutan određen stepen adaptibilnosti obrazaca hoda i da su ona bila u stanju da reaguju na fidbek koji je sistem virtuelne realnosti pružao u realnom vremenu, što je rezultiralo klinički značajnim poboljšanjem u domenu ekstenzije zgloba kuka i kolena prilikom hoda.

Arnoni i saradnici (Arnoni et al., 2019) sproveli su studiju sa ciljem utvrđivanja efekata rehabilitacione procedure na poboljšanje stabilnosti (postularne kontrole) i grubih motoričkih sposobnosti dece sa CP, koja se zasnivala na interaktivnim video-igrama. Tretman je sproveden osam nedelja (dve sesije nedeljno, svaka sesija po 50 minuta) posredstvom Kinect konzole. Uzorak istraživanja činilo je 15 ispitanika uzrasta 5–14 godina. Rezultati studije pokazali su značajan napredak na GMFM 88 skali procene, sa poboljšanjem od 10.8% na dimenziji D ($p = .021$) i 14% na dimenziji E ($p = .008$). Međutim, nisu pokazali značajno poboljšanje u domenu postularne kontrole u stojećem položaju. Jedno od objašnjenja ovakvog nalaza može se naći u činjenici da su ispitanici u okviru ove studije imali ocene I i II na skali klasifikacije nivoa grubih motoričkih sposobnosti GMFCS, što ukazuje na viši nivo motoričkih sposobnosti. S tim u vezi, moguće je da su oni već dostigli plato svojih sposobnosti u domenu postularne kontrole. Drugo moguće objašnjenje je da program vežbi nije konstruisan tako da na adekvatan način podstiče razvoj motoričkih sposobnosti u ovom domenu.

Jung i saradnici (Jung et al., 2018) sproveli su studiju slučaja sa ciljem procene uticaja treninga na Kinect platformi na motoričke sposobnosti, ravnotežu, hod i funkcionalnu pokretljivost dece sa CP. Uzorak studije činilo je četvero dece uzrasta 8–10 godina. Intervencija je podrazumevala tri sesije nedeljno tokom četiri nedelje, a svaka sesija trajala je 40 minuta. Rezultati su pokazali pretežno pozitivne efekte procedure. Utvrđen je napredak u domenu procenjivanih aspekata motoričkog funkcionisanja. Međutim, s obzirom na to da je u pitanju studija slučaja sa malim uzorkom, nije bilo moguće sprovesti opsežnije statističke analize. Takođe, nije bilo kontrolne grupe sa kojom bi bili upoređeni rezultati intervencije, pa se ne može sa sigurnošću tvrditi da su postignuti rezultati direktno uzrokovani terapijskom procedurom u virtuelnoj realnosti.

Još jedna studija koja se bavila ispitivanjem efekata primene Kinect platforme u tretmanu dece sa CP jeste studija koju su sproveli Sahin i saradnici (Şahin et al., 2020). Njihova studija imala je za cilj da proceni efekte primene treninga u virtuelnoj realnosti na razvoj grubih i finih motoričkih sposobnosti

i postizanje veće samostalnosti u aktivnostima svakodnevnog života. Uzorak istraživanja činilo je 60 ispitanika uzrasta 7–16 godina. Intervencija je podrazumevala 16 tretmana koji su trajali po 45 minuta, a tretmani su raspoređeni na period od osam nedelja. Rezultati istraživanja pokazuju vidljiv napredak kod ispitanika na Bruninks–Ozeretski skali za procenu motoričke spretnosti (BOTMP-SF) i skali za procenu nivoa samostalnosti u obavljanju aktivnosti svakodnevnog života (WeeFIM). Drugim rečima, autori su došli do rezultata koji svedoče o statistički značajnim razlikama između eksperimentalne i kontrolne grupe (u korist eksperimentalne grupe) nakon intervencije u oblasti grubih i finih motoričkih funkcija ($p < .001$).

Meins i saradnici (Meyns et al., 2017) su za potrebe svog istraživanja konstruisali program treninga u virtuelnoj realnosti na Nintendo Wii platformi. Cilj studije bio je da se ispita uticaj tretmana u virtuelnoj realnosti na održavanje ravnoteže u sedećem položaju kod dece sa CP nakon operacije donjih ekstremiteta. Uzorak istraživanja činilo je 11 ispitanika uzrasta 5–18 godina. Za kontrolnu grupu intervencija podrazumevala je četiri sata tretmana svakodnevno (dva sata fizikalne i dva sata okupacione terapije) pet puta nedeljno tokom celokupnog trajanja rehabilitacije u bolničkim uslovima nakon operacije. Eksperimentalna grupa imala je istu konvencionalnu terapiju i tri dodatne sesije tretmana u virtuelnoj realnosti nedeljno (svaka sesija po 30 minuta). Rezultati istraživanja su pokazali da su i kontrolna i eksperimentalna grupa unapredile kontrolu, odnosno ravnotežu trupa pri sedenju, mada je eksperimentalna grupa imala bolje skorove na testiranju nakon intervencije. Prilikom tumačenja ovh rezultata ne sme se izgubiti iz vida činjenica da je postojala razlika u pogledu intenziteta intervencije između dve grupe. Drugi zaključak koji autori izdvajaju je da su deca sa nižim ocenama na GMFCS skali postigla veći napredak tokom intervencije. I ovaj nalaz govori u prilog tezi iznetoj prilikom analize rezultata istraživanja Arnonija i saradnika (Arnoni et al., 2019) o tome da postoji mogućnost da je kod dece sa višim ocenama na GMFCS skali već postignut plato razvoja određenih motoričkih sposobnosti.

Kasi i saradnici (Kassee et al., 2017) sproveli su istraživanje koje je obuhvatalo trening u virtuelnoj realnosti na Nintendo Wii platformi, u cilju da utvrde da li je ovakav vid tretmana efikasniji od treninga sa otporom kada je u pitanju tretman motoričkih smetnji gornjih ekstremiteta kod dece sa CP. Uzorak je činilo šest ispitanika uzrasta 7–12 godina. Intervencija je podrazumevala najmanje 40 minuta treninga dnevno, pet puta nedeljno tokom šest nedelja za obe grupe, s tim da je eksperimentalna grupa (EG) trening izvodila igranjem interaktivnih video-igara na Wii platformi, dok je kontrolna grupa (KG) imala trening sa otporom. Obe procedure sprovedene su u kućnim uslovima. Rezultati su pokazali da kod dvoje dece iz EG i jednog deteta iz KG nakon intervencije postoji napredak na Melburn skali procene kvaliteta pokreta gornjih ekstremiteta. Kod jednog deteta iz EG i dvoje dece iz KG postoji

napredak u smislu maksimalne snage stiska šake. Deca i roditelji iz EG bili su zadovoljniji programom tretmana i više su ga se pridržavali. S obzirom na to da je celokupan program motoričkih vežbi sproveden u kućnim uslovima, veliki udeo u proceni napredovanja dece imali su roditelji, što je ujedno i jedno od ograničenja ove studije (pored malog uzorka). Rezultati su, takođe, pokazali da su deca sa nižim ocenama na GMFCS skali pokazala veći napredak, što može da ukazuje na to da su ovakve procedure pogodnije za rad sa decom sa nižim nivoima motoričkih sposobnosti, jer za decu sa bolje razvijenim motoričkim sposobnostima procedure možda nisu dovoljno intenzivne.

Još jedan visoko tehnološki sistem, čija je upotreba sve učestalija u rehabilitacionim procedurama, jeste Interaktivni rehabilitacioni sistem – IREX (Interactive Rehabilitation Exercise System) (Glegg et al., 2014; Lee, 2015; Levac et al., 2016; Lotan et al., 2010; Yang et al., 2014). Levac i saradnici (Levac et al., 2018) ispitali su efikasnost primene ovog sistema u kombinaciji sa Kinect platformom u rehabilitaciji grubih motoričkih sposobnosti kod dece sa CP. Uzorak istraživanja činilo je 11 ispitanika uzrasta 7–18 godina. Tretman je podrazumevao petodnevnu primenu IREX sistema u kliničkim uslovima, praćenu sa šest nedelja vežbanja u kućnim uslovima na Kinect platformi za eksperimentalnu grupu, dok je kontrolna grupa imala samo Kinect tretman u kućnim uslovima. I jednu i drugu grupu terapeuti su pratili posredstvom veb-stranice kreirane za tu namenu. Rezultati su pokazali statistički značajan napredak na GMFM skali procene u korist kontrolne grupe ($p = .042$), dok su rezultati šestominutnog testa hoda pokazali opadanje pređene distance u obe grupe, ali značajno više u eksperimentalnoj ($p = .043$). U cilju objašnjenja ovakvih rezultata može se pretpostaviti da vežbe na Kinect platformi nisu bile dovoljno izazovne i specifične. S druge strane, kontrolna grupa je u proseku provodila više vremena na Kinect platformi od eksperimentalne grupe (14.71 minut u danu tokom šest nedelja). Dakle, rezultati se mogu tumačiti u kontekstu intenziteta korišćenja programa. Navodi se i da su se rezultati šestominutnog testa hoda vratili na početne vrednosti na kontrolnoj proceni koja je sprovedena dva meseca nakon okončanja intervencije. Na osnovu toga može se pretpostaviti da je Kinect program vežbi bio direktan uzrok opadanja ovih skorova na merenju neposredno po okončanju intervencije. U skladu sa tim, jedno od objašnjenja moglo bi biti da vežbe nisu bile adekvatno osmišljene kako bi imale stimulativan efekat na izdržljivost ispitanika merenu pređenom distancom. Međutim, kada je reč o primeni IREX sistema, rezultatima ovog istraživanja nije opravdana njegova upotreba.

S druge strane, ni istraživanje Milsa i saradnika (Mills et al., 2019), u kojem je procenjivan uticaj IREX sistema na postularnu mišićnu kontrolu kod 11 ispitanika sa CP uzrasta 7–17 godina, nije pokazalo pozitivne efekte ove intervencije, mada je i u ovom slučaju intervencija ograničena na pet dana.

S obzirom na to da je upotreba ovog sistema rasprostranjena i da postoje i izveštaji o uspešno sprovedenim intervencijama u okviru drugih patologija (Lee, 2015), potrebno je sprovesti istraživanje koje bi obuhvatalo intervenciju na populaciji sa CP, s tim da tretman podrazumeva duži vremenski period i veći intenzitet vežbanja. Na taj način preciznije bi se odredili efekti ovakvog pristupa u rehabilitaciji CP. Takođe, bilo bi zanimljivo videti rezultate studije koja bi uporedila efekte IREX tretmana u rehabilitaciji motoričkih sposobnosti kod različitih patologija. Na taj način moglo bi se utvrditi u kojoj meri efikasnost ovog tretmana korelira sa uzrokom motoričkih smetnji i poremećaja.

Posebnu oblast rehabilitacije, novijeg datuma, predstavljaju sistemi koji kombinuju robotiku i virtuelnu realnost (Clark et al., 2019; Mubin et al., 2019). Armeo je egzoskelet, odnosno robotička ortoza koja podržava težinu gornjeg ekstremiteta i na taj način olakšava izvođenje pokreta, a ujedno ih i potpomaže. Ovaj egzoskelet se povezuje sa kompjuterom putem kog se izvršavaju zadaci u virtuelnom prostoru. U literaturi su dostupni podaci o efikasnoj primeni Armeo sistema u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta kod dece sa traumatskim povredama glave, lezijama pleksusa brahijalisa, kod osoba sa povredama kičmene moždine, nakon moždanog udara, u tretmanu CP (Adomavičienė et al., 2019; Beretta et al., 2018; Calabrò et al., 2016; El-Shamy & Alsharif, 2017; Zariffa et al., 2012). El-Šami (El-Shamy, 2018) takođe izveštava o efikasnosti Armeo terapije kod 30 ispitanika sa CP uzrasta 6–8 godina. U istraživanju je došao do zaključka o postojanju statistički značajne razlike na Skali za merenje nivoa spasticiteta gornjih ekstremiteta (MAS $p < .05$) i Testu za procenu kvaliteta funkcionisanja gornjih ekstremiteta (QUEST $p < .05$) nakon dvanaestonedeljnog tretmana primenom Armeo sistema u odnosu na primenu konvencionalne terapije u korist eksperimentalne grupe (Armeo grupe). Dakle, prema rezultatima ovog istraživanja Armeo robotska terapija pokazala se kao značajno efikasniji pristup u odnosu na konvencionalne metode u rehabilitaciji sposobnosti gornjih ekstremiteta.

Odabir sistema virtuelne realnosti i njihova pristupačnost za komercijalnu i kliničku upotrebu

Najpre je važno napomenuti da su sistemi opisani u ovom radu klasifikovani kao sistemi virtuelne realnosti na osnovu njihove klasifikacije u okviru analiziranih istraživanja. Međutim, u stručnoj terminologiji još uvek nije jasno i eksplicitno definisan pojam virtuelne realnosti. Iz tog razloga nailazimo na neslaganje autora u pogledu toga koju vrstu tehnoloških sistema možemo, a koju ne možemo klasifikovati kao sisteme virtuelne realnosti. Postoji stanovište da komercijalne platforme kao što su Kinect i Nintendo Wii ne mogu same po sebi biti označene kao sistemi virtualne realnosti jer se vizuelni fdbek zasniva na slici projektovanoj na ekranu, a takav pristup ne pruža dovoljan nivo „uronjenosti” subjekta u virtuelnu realnost. Kao terminološki prihvatljive

opcije, u ovom smislu, navode se sistemi koji osobu u potpunosti uključuju u projektovanu simulaciju, kada prestaje percipiranje objektivnog prostora, što rezultira povećanim osećanjem prisutnosti u virtuelnoj realnosti, a konsekvntno se efekti procedure produbljuju (Gorini et al., 2011; Riches et al., 2019; Tieri et al., 2018). S druge strane, tretmani sprovedeni posredstvom komercijalnih sistema zasnovani su na aktivnostima koje se odvijaju u virtuelnom prostoru, a rezultati istraživanja koja su se bazirala na korišćenju ovakvih sistema pokazuju pozitivne efekte i govore u prilog upotrebe ovih platformi u rehabilitacione svrhe (Bonnehère et al., 2016; Donath et al., 2016; Levinger et al., 2016; Yates et al., 2016).

S obzirom na veliku varijabilnost sistema virtuelne realnosti, ne iznenađuje činjenica da je i njihova pristupačnost podjednako raznovrsna. U tom smislu treba imati na umu nekoliko ključnih dimenzija koje podrazumevaju objektivni prostor koji sistem zauzima, cenu opreme i tehničku i tehnološku pripremljenost osoblja za kreiranje i modifikaciju programa tretmana. Najčešće korišćeni sistemi virtualne realnosti su oni koji se zaničaju na komercijalno dostupnim komponentama, Xbox Kinect 360 ili Nintendo Wii (Arnoni et al., 2019; Jung et al., 2018; Kassej et al., 2017; Levac et al., 2016; Meyns et al., 2017; Şahin et al., 2020). Ovi sistemi su kompaktni i najčešće sastavljeni od svega nekoliko komponenti. Ali, s druge strane, sistemi virtuelne realnosti mogu predstavljati posebne, kompleksne, interaktivne prostorije u kojima je svaki segment jedan od integralnih delova koji zajedno sačinjavaju sistem. U skladu s tim i cena opreme potrebna za sastavljanje sistema virtuelne realnosti može varirati od nekoliko stotina do više hiljada dolara. Poslednja dimenzija koja utiče na pristupačnost sistema virtuelne realnosti je softverska kompleksnost. Drugim rečima, za različite sisteme virtuelne realnosti potreban je različit nivo informatičke i tehnološke „umešnosti” kako bi se kreirao i po potrebi modifikovao program vežbi koje će se izvoditi u virtuelnoj realnosti (Tieri et al., 2018).

Dodatni benefiti tretmana u virtuelnoj realnosti

Još jedna značajna karakteristika tretmana koji obuhvataju primenu sistema virtuelne realnosti jeste nivo motivacije učesnika. Autori različitih studija izveštavaju o visokom nivou motivisanosti učesnika za izvođenje programa treninga u virtuelnoj realnosti (Arnoni et al., 2019; Brüttsch et al., 2011; Cho et al., 2016; Golomb et al., 2011; Harris & Reid, 2005; Meyer-Heim & van Hedel, 2013). S obzirom na to da je ovakav pristup rehabilitaciji relativno novijeg datuma, sa velikom dozom sigurnosti može se pretpostaviti da na visok nivo motivacije dodatno utiče mogućnost koju učesnik ima u smislu upoznavanja do tada neistraženih sadržaja. Takođe, veliki diverzitet potencijalnih simulacija pruža još dve mogućnosti: prva je da se tretmani odvijaju duži vremenski period a da ne dođe do prezasićenja kod učesnika, što bi imalo negativan uticaj

na motivaciju, a druga se odnosi na smanjenje rizika javljanja pretreniranosti i automatizacije aktivnosti kojima se postiže cilj.

Ipak ne treba izgubiti iz vida činjenicu da virtualna realnost i objektivna realnost nisu isto. Rezultati nekih istraživanja svedoče o tome da mozak drugačije reaguje tokom interakcije u virtualnom okruženju u odnosu na realno, objektivno okruženje. S tim u vezi ističe se da samo „realistično” virtualno okruženje može izazvati odgovore na eksterne stimulse kakve bismo uočili u realnom okruženju, ali nije moguće u potpunosti verodostojno simulirati realnost, pa istraživač/terapeut mora pažljivo da izabere strategiju koju će primeniti, a koja će prvenstveno ostati fokusirana na cilj rehabilitacije (Tierl et al., 2018).

Zaključak

Pregledom dostupne literature došlo se do kontradiktornih rezultata. Pored studija koje svedoče o nedvosmisleno pozitivnim efektima primene sistema virtualne realnosti u rehabilitaciji motoričkih smetnji i poremećaja kod dece sa CP, postoje i one u kojima je evidentno da taj efekat izostaje. Međutim, upitan je i kvalitet sprovedenih istraživanja. Veličina uzorka, intenzitet, trajanje i struktura intervencije, kao i odabir sistema virtualne realnosti, u velikoj meri variraju od istraživanja do istraživanja. Ono oko čega se autori uglavnom slažu jeste pozitivan uticaj sistema virtualne realnosti na nivo motivacije učesnika za aktivnu participaciju u rehabilitacionom procesu. Neki od problema u primeni ovakvog pristupa rehabilitaciji su cena i dostupnost ovih sistema kako za korisnike, tako i za istraživače. U tom smislu veliku prednost imaju komercijalni sistemi koji se zasnivaju na izvođenju aktivnosti u virtualnom prostoru, kao što su Xbox Kinect ili Nintendo Wii, koji su finansijski, tehnički i prostorno manje zahtevni u poređenju sa nekim drugim sistemima. Opšti zaključak ovog rada je da sistemi virtualne realnosti imaju veliki potencijal za primenu u oblasti rehabilitacije, ali i da ova oblast još uvek nije dovoljno istražena i zahteva dalje angažovanje kako bi se napravio korak više u cilju opravdavanja ili osporavanja njihove primene.

Analizom su obuhvaćeni radovi dostupni u okviru jednog pretraživača, pa je samim tim i broj analiziranih radova manji. Kako bi se detaljnije istražila ova tema potrebno je sprovesti analizu koja bi obuhvatala više relevantnih izvora naučnoistraživačkih izveštaja i kojom bi se postigao obimniji i sveobuhvatniji pregled literature.

Literatura

- Adomavičienė, A., Daunoravičienė, K., Kubilius, R., Varžaitytė, L., & Raistenskis, J. (2019). Influence of new technologies on post-stroke rehabilitation: A comparison of Armeo Spring to the Kinect system. *Medicina*, 55(4), Article 98. <https://doi.org/10.3390/medicina55040098>
- Aida, J., Chau, B., & Dunn, J. (2018). Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: A literature review. *NeuroRehabilitation*, 42(4), 441-448. <https://doi.org/10.3233/NRE-172361>
- Amirmudin, N. A., Lavelle, G., Theologis, T., Thompson, N., & Ryan, J. M. (2019). Multilevel surgery for children with cerebral palsy: A meta-analysis. *Pediatrics*, 143(4), Article e20183390. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-3390>
- Arnoni, J. L. B., Pavão, S. L., dos Santos Silva, F. P., & Rocha, N. A. C. F. (2019). Effects of virtual reality in body oscillation and motor performance of children with cerebral palsy: A preliminary randomized controlled clinical trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 35, 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2019.02.014>
- Ayed, I., Ghazel, A., Jaume-i-Capó, A., Moyà-Alcover, G., Varona, J., & Martínez-Bueso, P. (2019). Vision-based serious games and virtual reality systems for motor rehabilitation: A review geared toward a research methodology. *International Journal of Medical Informatics*, 131, Article 103909. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.06.016>
- Beretta, E., Cesareo, A., Biffi, E., Schafer, C., Galbiati, S., & Strazzer, S. (2018). Rehabilitation of upper limb in children with acquired brain injury: A preliminary comparative study. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018, Article 4208492. <https://doi.org/10.1155/2018/4208492>
- Bonnechère, B., Jansen, B., Omelina, L., & Van Sint Jan, S. (2016). The use of commercial video games in rehabilitation: A systematic review. *International Journal of Rehabilitation Research*, 39(4), 277-290. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000190>
- Booth, A. T., Buizer, A. I., Harlaar, J., Steenbrink, F., & van der Krogt, M. M. (2019). Immediate effects of immersive biofeedback on gait in children with cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100(4), 598-605. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.10.013>
- Brütsch, K., Koenig, A., Zimmerli, L., Mérillat-Koeneke, S., Riener, R., Jäncke, L., Van Hedel, H. J. A., & Meyer-Heim, A. (2011). Virtual reality for enhancement of robot-assisted gait training in children with neurological gait disorders. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 43(6), 493-499. <https://doi.org/10.2340/16501977-0802>
- Calabrò, R. S., Russo, M., Naro, A., Milardi, D., Balletta, T., Leo, A., Filoni, S., & Bramanti, P. (2016). Who may benefit from Armeo Power treatment? A neurophysiological approach to predict neurorehabilitation outcomes. *PM and R*, 8(10), 971-978. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.02.004>
- Cavalcante Neto, J. L., de Oliveira, C. C., Greco, A. L., Zamunér, A. R., Moreira, R. C., & Tudella, E. (2019). Is virtual reality effective in improving the motor performance of children with developmental coordination disorder? A systematic review. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55(2), 291-300. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.18.05427-8>
- Cho, C., Hwang, W., Hwang, S., & Chung, Y. (2016). Treadmill training with virtual reality improves gait, balance, and muscle strength in children with cerebral palsy.

- Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 238(3), 213-218. <https://doi.org/10.1620/tjem.238.213>
- Christy, J. B., Chapman, C. G., & Murphy, P. (2012). The effect of intense physical therapy for children with cerebral palsy. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 5(3), 159-170. <https://doi.org/10.3233/PRM-2012-0208>
- Clark, W. E., Sivan, M., & O'Connor, R. J. (2019). Evaluating the use of robotic and virtual reality rehabilitation technologies to improve function in stroke survivors: A narrative review. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 6, Article 205566831986355. <https://doi.org/10.1177/2055668319863557>
- De Araújo, A. V. L., Neiva, J. F. D. O., Monteiro, C. B. D. M., & Magalhães, F. H. (2019). Efficacy of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: A systematic review. *BioMed Research International*, 2019, Article 7106951. <https://doi.org/10.1155/2019/7106951>
- Dockx, K., Van den Bergh, V., Bekkers, E. M. J., Ginis, P., Rochester, L., Hausdorff, J. M., Mirelman, A., & Nieuwboer, A. (2013). Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2013(10), Article CD010760. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010760>
- Donath, L., Rössler, R., & Faude, O. (2016). Effects of virtual reality training (exergaming) compared to alternative exercise training and passive control on standing balance and functional mobility in healthy community-dwelling seniors: A meta-analytical review. *Sports Medicine*, 46(9), 1293-1309. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0485-1>
- El-Shamy, S. M. (2018). Efficacy of Armeo® robotic therapy versus conventional therapy on upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(3), 164-169. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000852>
- El-Shamy, S., & Alsharif, R. (2017). Effect of virtual reality versus conventional physiotherapy on upper extremity function in children with obstetric brachial plexus injury. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, 17(4), 319-326.
- Franki, I., Desloovere, K., De Cat, J., Feys, H., Molenaers, G., Calders, P., Vanderstraeten, G., Himpens, E., & Van den Broeck, C. (2012). The evidence-base for basic physical therapy techniques targeting lower limb function in children with cerebral palsy: A systematic review using the International Classification of Functioning, Disability and Health as a conceptual framework. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44(5), 385-395. <https://doi.org/10.2340/16501977-0983>
- Gagliardi, C., Turconi, A. C., Biffi, E., Maghini, C., Marelli, A., Cesareo, A., Diella, E., & Panzeri, D. (2018). Immersive virtual reality to improve walking abilities in cerebral palsy: A pilot study. *Annals of Biomedical Engineering*, 46(9), 1376-1384. <https://doi.org/10.1007/s10439-018-2039-1>
- Glegg, S. M. N., Tatla, S. K., & Holsti, L. (2014). The GestureTek virtual reality system in rehabilitation: A scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 9(2), 89-111. <https://doi.org/10.3109/17483107.2013.799236>
- Golomb, M. R., Warden, S. J., Fess, E., Rabin, B., Yonkman, J., Shirley, B., & Burdea, G. C. (2011). Maintained hand function and forearm bone health 14 months after an in-home virtual-reality videogame hand telerehabilitation intervention in an adolescent with hemiplegic cerebral palsy. *Journal of Child Neurology*, 26(3), 389-393. <https://doi.org/10.1177/0883073810394847>
- Gómez Álvarez, N., Venegas Mortecinos, A., Zapata Rodríguez, V., López Fontanilla, M., Maudier Vásquez, M., Pavez-Adasme, G., & Hernández-Mosqueira, C. (2018). Effect of an intervention based on virtual reality on motor development and postural

- control in children with Down syndrome. *Revista Chilena de Pediatría*, 89(6), 747-752. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062018005001202>
- Gorini, A., Capideville, C. S., De Leo, G., Mantovani, F., & Riva, G. (2011). The role of immersion and narrative in mediated presence: The virtual hospital experience. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 14(3), 99-105. <https://doi.org/10.1089/cyber.2010.0100>
- Harris, K., & Reid, D. (2005). The influence of virtual reality play on children's motivation. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 72(1), 21-29. <https://doi.org/10.1177/000841740507200107>
- Jung, S. H., Song, S. H., Kim, S. D., Lee, K., & Lee, G. C. (2018). Does virtual reality training using the Xbox Kinect have a positive effect on physical functioning in children with spastic cerebral palsy? A case series. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 11(2), 95-101. <https://doi.org/10.3233/PRM-160415>
- Kassee, C., Hunt, C., Holmes, M. W. R., & Lloyd, M. (2017). Home-based Nintendo Wii training to improve upper-limb function in children ages 7 to 12 with spastic hemiplegic cerebral palsy. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 10(2), 145-154. <https://doi.org/10.3233/PRM-170439>
- Kerem, M., Kaya, O., Ozal, C., & Turker, D. (2014). Virtual reality in rehabilitation of children with cerebral palsy. In E. Švraka (Ed.), *Cerebral Palsy – Challenges for the Future* (pp. 273-301). InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/57486>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(11), Article CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Lee, K. H. (2015). Effects of a virtual reality-based exercise program on functional recovery in stroke patients: Part 1. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(6), 1637-1640. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1637>
- Levac, D., Glegg, S. M. N., Sveistrup, H., Colquhoun, H., Miller, P. A., Finestone, H., DePaul, V., Harris, J. E., & Velikonja, D. (2016). A knowledge translation intervention to enhance clinical application of a virtual reality system in stroke rehabilitation. *BMC Health Services Research*, 16(1), Article 557. <https://doi.org/10.1186/s12913-016-1807-6>
- Levac, D., McCormick, A., Levin, M. F., Brien, M., Mills, R., Miller, E., & Sveistrup, H. (2018). Active video gaming for children with cerebral palsy: Does a clinic-based virtual reality component offer an additive benefit? A pilot study. *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 38(1), 74-87. <https://doi.org/10.1080/01942638.2017.1287810>
- Levinger, P., Zeina, D., Teshome, A. K., Skinner, E., Begg, R., & Abbott, J. H. (2016). A real time biofeedback using Kinect and Wii to improve gait for post-total knee replacement rehabilitation: A case study report. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(3), 251-262. <https://doi.org/10.3109/17483107.2015.1080767>
- Lotan, M., Yalon-Chamovitz, S., & Weiss, P. L. T. (2010). Virtual reality as means to improve physical fitness of individuals at a severe level of intellectual and developmental disability. *Research in Developmental Disabilities*, 31(4), 869-874. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.01.010>
- Maggio, M. G., Russo, M., Cuzzola, M. F., Destro, M., La Rosa, G., Molonia, F., Bramanti, P., Lombardo, G., De Luca, R., & Calabrò, R. S. (2019). Virtual reality in multiple sclerosis rehabilitation: A review on cognitive and motor outcomes. *Journal of Clinical Neuroscience*, 65, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2019.03.017>

- Mao, Y., Chen, P., Li, L., & Huang, D. (2014). Virtual reality training improves balance function. *Neural Regeneration Research*, 9(17), 1628-1634. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.141795>
- Massetti, T., da Silva, T. D., Crocetta, T. B., Guarnieri, R., de Freitas, B. L., Bianchi Lopes, P., Watson, S., Tonks, J., & de Mello Monteiro, C. B. (2018). The clinical utility of virtual reality in neurorehabilitation: A systematic review. *Journal of Central Nervous System Disease*, 10, 1-18. <https://doi.org/10.1177/1179573518813541>
- McCoy, S. W., Palisano, R., Avery, L., Jeffries, L., Laforme Fiss, A., Chiarello, L., & Hanna, S. (2020). Physical, occupational, and speech therapy for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 62(1), 140-146. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14325>
- Meyer-Heim, A., & van Hedel, H. J. A. (2013). Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: Current state and clinical implementation. *Seminars in Pediatric Neurology*, 20(2), 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2013.06.006>
- Meyns, P., Pans, L., Plasmans, K., Heyrman, L., Desloovere, K., & Molenaers, G. (2017). The effect of additional virtual reality training on balance in children with cerebral palsy after lower limb surgery: A feasibility study. *Games for Health Journal*, 6(1), 39-48. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0069>
- Mills, R., Levac, D., & Sveistrup, H. (2019). The effects of a 5-day virtual-reality based exercise program on kinematics and postural muscle activity in youth with cerebral palsy. *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 39(4), 388-403. <https://doi.org/10.1080/01942638.2018.1505801>
- Mubin, O., Alnajjar, F., Jishtu, N., Alsinglawi, B., & Al Mahmud, A. (2019). Exoskeletons with virtual reality, augmented reality, and gamification for stroke patients' rehabilitation: Systematic review. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 6(2), Article e12010. <https://doi.org/10.2196/12010>
- Nicolini-Panisson, R. D. A., Tedesco, A. P., Folle, M. R., & Donadio, M. V. F. (2018). Selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy: Selection criteria and postoperative physical therapy protocols. *Revista Paulista de Pediatria*, 36(1), 100-108. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2018;36;1;00005>
- Osumi, M., Inomata, K., Inoue, Y., Otake, Y., Morioka, S., & Sumitani, M. (2019). Characteristics of phantom limb pain alleviated with virtual reality rehabilitation. *Pain Medicine*, 20(5), 1038-1046. <https://doi.org/10.1093/pm/pny269>
- Perez-Marcos, D., Solazzi, M., Steptoe, W., Oyekoya, O., Frisoli, A., Weyrich, T., Steed, A., Tecchia, F., Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2012). A fully immersive set-up for remote interaction and neurorehabilitation based on virtual body ownership. *Frontiers in Neurology*, 3, Article 110. <https://doi.org/10.3389/fneur.2012.00110>
- Potić, S., i Nedović, G. (2016). Struktura motoričkog ponašanja i motoričkih programa osoba sa cerebralnom paralizom. *Beogradska defektološka škola*, 22(2), 21-40.
- Potić, S., i Nedović, G. (2019). O senzornim informacijama i njihovom značaju za organizaciju motoričkog ponašanja – teorijska razmatranja. *Beogradska defektološka škola*, 25(3), 49-63.
- Ravi, D. K., Kumar, N., & Singhi, P. (2017). Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: An updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy*, 103(3), 245-258. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2016.08.004>
- Riches, S., Elghany, S., Garety, P., Rus-Calafell, M., & Valmaggia, L. (2019). Factors affecting sense of presence in a virtual reality social environment: A qualitative

- study. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(4), 288-292. <https://doi.org/10.1089/cyber.2018.0128>
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., & Damiano, D. (2006). A report: The definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 109, 8-14.
- Şahin, S., Köse, B., Aran, O. T., Bahadlr Ağce, Z., & Kayıhan, H. (2020). The effects of virtual reality on motor functions and daily life activities in unilateral spastic cerebral palsy: A single-blind randomized controlled trial. *Games for Health Journal*, 9(1), 45-52. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0020>
- Tieri, G., Morone, G., Paolucci, S., & Iosa, M. (2018). Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: Facts, fiction and fallacies. *Expert Review of Medical Devices*, 15(2), 107-117. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1425613>
- Van Gelder, L., Booth, A. T. C., van de Port, I., Buizer, A. I., Harlaar, J., & van der Krogt, M. M. (2017). Real-time feedback to improve gait in children with cerebral palsy. *Gait and Posture*, 52, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.11.021>
- Weiss, P. L., Tirosh, E., & Fehlings, D. (2014). Role of virtual reality for cerebral palsy management. *Journal of Child Neurology*, 29(8), 1119-1124. <https://doi.org/10.1177/0883073814533007>
- Yang, S., Chun, M. H., & Son, Y. R. (2014). Effect of virtual reality on cognitive dysfunction in patients with brain tumor. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 38(6), 726-733. <https://doi.org/10.5535/arm.2014.38.6.726>
- Yates, M., Kelemen, A., & Sik Lanyi, C. (2016). Virtual reality gaming in the rehabilitation of the upper extremities post-stroke. *Brain Injury*, 30(7), 855-863. <https://doi.org/10.3109/02699052.2016.1144146>
- Zariffa, J., Kapadia, N., Kramer, J. L. K., Taylor, P., Alizadeh-Meghrazi, M., Zivanovic, V., Willms, R., Townson, A., Curt, A., Popovic, M. R., & Steeves, J. D. (2012). Feasibility and efficacy of upper limb robotic rehabilitation in a subacute cervical spinal cord injury population. *Spinal Cord*, 50(3), 220-226. <https://doi.org/10.1038/sc.2011.104>

Implementation of virtual reality based treatment of motor disorders in children with cerebral palsy

Saša S. Stanisavljević, Goran M. Nedović

University of Belgrade – Faculty of Special Education and Rehabilitation, Belgrade, Serbia

Introduction. Virtual reality is a computer-generated interactive simulation of reality that provides a wide range of possibilities for creating a beneficial therapeutic program. The use of virtual reality systems in the rehabilitation of motor disorders in children with cerebral palsy is relatively recent. **Objective.** Accordingly, the aim of this review is to establish the level of effectiveness of rehabilitation interventions based on virtual reality systems in the treatment of children with cerebral palsy, based on the available literature. **Methods.** The initial search identified 63 scientific papers (research reports). By applying the selection criteria, nine papers were selected that met the given criteria and thus entered the further process of analysis. During the analysis, special attention

was paid to: the outcomes of therapeutic procedures (the achieved results); and the analysis of the selection criteria of virtual reality systems to be used in the rehabilitation and accessibility of these systems for commercial and clinical applications. *Results.* Contradictory results have been found based on the analysis of the levels of effectiveness of rehabilitation interventions. In addition to studies that testify to the unequivocally positive effects of the application of virtual reality in the rehabilitation of children with cerebral palsy, there are also those in which it is evident that this effect is absent. *Conclusion.* The general conclusion of this paper is that virtual reality systems have great potential for application in the field of rehabilitation of motor disorders, but also that this area is still not sufficiently researched and requires further engagement to go one step further to justify or challenge their application.

Keywords: virtual reality, motor skills, rehabilitation, cerebral palsy

PRIMLJENO: 27.04.2021.

REVIDIRANO: 29.06.2021.

PRIHVAĆENO: 02.07.2021.