

Terapia baseada em realidade virtual usando o *Leap Motion Controller* para reabilitação do membro superior após acidente vascular cerebral

Virtual reality therapy using the Leap Motion Controller for post-stroke upper limb rehabilitation

Nayron Medeiros Soares¹✉, Gabriela Magalhães Pereira², Renata Italiano da Nóbrega Figueiredo¹, Gleydson Silva Morais³, Sandy Gonzaga de Melo³

¹ Núcleo de Tecnologias Estratégicas da Saúde (NUTES), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Campina Grande, PB.

² Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS.

³ Departamento de Fisioterapia da UEPB. Campina Grande, PB.

RESUMO

OBJETIVOS: Avaliar a aplicabilidade de um sensor de movimento, baseado em realidade virtual, para promover a reabilitação do membro superior após um acidente vascular cerebral.

RELATO DOS CASOS: Três pacientes após acidente vascular cerebral realizaram um treino para reabilitação do membro superior com realidade virtual usando a tecnologia *Leap Motion Controller* e o jogo *Playground 3D*[®], durante três dias consecutivos. No primeiro e no terceiro dia, foram avaliados com os testes Caixa e Blocos, Coordenação Óculo-Manual de Melo e Estimulação Magnética Transcraniana. No último dia, foram aplicadas Fichas de Avaliação da Experiência do paciente. Após o treinamento proposto, observou-se diminuição do limiar motor em ambos os hemisférios cerebrais e melhores desempenhos nos testes que avaliaram a habilidade manual e óculo-manual. A terapia proposta foi bem recebida pelos pacientes testados.

CONCLUSÕES: Não foram observados efeitos adversos e os resultados mostram-se promissores e precisos no treinamento realizado com realidade virtual usando a tecnologia *Leap Motion Controller* e o jogo *Playground 3D*[®]. O treinamento proporcionou uma participação ativa dos pacientes na reabilitação das sequelas de extremidade superior após um acidente vascular cerebral.

DESCRITORES: terapia de exposição à realidade virtual; acidente vascular cerebral; reabilitação.

ABSTRACT

AIMS: To evaluate the applicability of a virtual reality-based motion sensor for post-stroke upper limb rehabilitation.

CASES DESCRIPTION: Three post-stroke patients were subjected to virtual reality training for rehabilitation of their upper limbs using the Leap Motion Controller technology and the game *Playground 3D*[®] for 3 consecutive days. On the first and last days, the Box and Blocks test, the De Melo Eye-Hand Coordination Test, and transcranial magnetic stimulation were applied. On the last day, the patients were evaluated with the Experience Evaluation Form. After the proposed training, a lower motor threshold was observed in both cerebral hemispheres, as well as better performance in the tests that evaluated hand and eye-hand coordination skills. The proposed therapy was well received by the patients.

CONCLUSIONS: No adverse effects were observed, and promising and precise results were obtained for the virtual reality-based training using the Leap Motion Controller and *Playground 3D*[®]. The training allowed patients to have an active role in the rehabilitation of stroke-induced upper limb sequelae.

KEY WORDS: virtual reality exposure therapy; stroke; rehabilitation.

Recebido: dezembro, 2016

Aceito: março, 2017

Publicado: abril, 2017

✉ **Correspondência:** nayronn@gmail.com

Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
Rua Juvêncio Arruda, s/nº – CEP 58429-600, Campina Grande, PB, Brasil



Este artigo está licenciado sob forma de uma licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a publicação original seja corretamente citada. http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR

Abreviaturas: AVC, acidente vascular cerebral; RV, realidade virtual; LMC, *Leap Motion Controller*; MEEM, Mini Exame do Estado Mental; LED, *Light Emitter Diode*.

INTRODUÇÃO

O acidente vascular cerebral (AVC) é o distúrbio neurológico mais frequente em todo o mundo, que pode repercutir em alterações motoras, cognitivas e comportamentais [1-4]. As alterações motoras podem atingir a funcionalidade dos músculos do hemitórax contralateral a lesão cerebral, chamada hemiparesia ou hemiplegia [5]. Todas essas modificações podem ter impacto significativo na qualidade de vida do indivíduo, o que pode causar dependência e favorecer o desenvolvimento de doenças secundárias [6].

Embora na maioria dos casos seja possível observar uma recuperação rápida e eficaz da funcionalidade da marcha, proporcionada pela interação precoce de ambos os membros inferiores, apenas 50% dos pacientes após AVC recuperam independência e controle motor na função da extremidade superior e persistem com déficits após seis meses [7-10]. Este fato pode ser influenciado pelo fato de que diversas atividades podem ser completadas apenas com um membro superior, podendo, entretanto, refletir-se em complicações secundárias frequentes, tais como subluxação e dor no ombro [11-13].

O processo de recuperação nessa população é dinâmico, e dependerá de fatores como a natureza da lesão e processos adaptativos do sistema nervoso [14, 15]. Para isto, são necessárias tarefas direcionadas às necessidades funcionais do paciente [16]. Novas estratégias de reabilitação seguem o princípio da plasticidade e aprendizado motor, priorizando a tarefa de alta intensidade, repetição e práticas específicas de tarefas [17]. Nesse sentido, os sistemas de realidade virtual (RV) permitem a interação do usuário com um mundo virtual criado por um computador [15]. Esses sistemas proporcionam um novo conceito e fornecem um meio adequado para intervenção e reabilitação eficaz [18-20]. O *feedback* visual fornecido pela RV pode contribuir para a reabilitação através do sistema de neurônios espelhos, o qual é ativado tanto na observação quanto na execução do movimento [21, 22].

O treinamento com RV apresenta-se promissor, especialmente na reabilitação do membro superior pós AVC [23-26]. Além dos ganhos funcionais, o processo de reabilitação através da RV permite um maior envolvimento no programa, aproveitamento e

sensação de controle sobre o ambiente pelos pacientes [27]. Apesar de inúmeras aplicações da RV, estudos devem ser direcionados para esclarecer melhor as influências das variáveis sobre a eficiência, precisão e interações dessas ferramentas em danos causados no sistema sensorio-motor pelo AVC [6, 28].

O sensor *Leap Motion Controller* (LMC) é um *hardware* que permite por meio da RV criar uma interface de controle para movimentos de mãos e dedos, porém, não requer nenhum contato manual ou toque com o equipamento [29]. É um sistema confiável para medir o desempenho motor, como por exemplo, tempo de reação, coordenação bimanual e trilha de movimento [30].

Estudos científicos sobre o uso desta tecnologia devem ser realizados com o intuito de investigar o custo-benefício da mesma para reabilitação neurológica. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a aplicabilidade de um sensor de movimento, baseado em realidade virtual, para promover a reabilitação do membro superior no pós AVC.

Este estudo foi realizado no Laboratório de Neurociências e Comportamento da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UEPB, sob parecer nº 1.353.300.

RELATO DOS CASOS

Procedimentos de avaliação e intervenção

Três pacientes em recuperação de AVC realizaram um treinamento para reabilitação do membro superior com RV usando a tecnologia LMC, durante três dias consecutivos. No primeiro e no terceiro dia, foram avaliados com os testes Caixa e Blocos, Coordenação Óculo-Manual de Melo e Estimulação Magnética Transcraniana. No último dia, foi aplicada a Ficha de Avaliação da Experiência do paciente. Para estadiamento da função cognitiva global, utilizou-se o Mini Exame do Estado Mental (MEEM) [31].

A avaliação neurofisiológica constou na verificação do limiar motor de repouso pela estimulação magnética transcraniana (*Neurosoft* – Neuro-MS/D-5, referência 153032), modo pulso único, com uma bobina em figura de oito angulada. Foram realizados estímulos no córtex motor primário com intensidade mínima capaz de produzir movimentos musculares no primeiro músculo interosseo dorsal da mão contralateral, variando entre cinco e 10 tentativas para confirmação do potencial evocado motor [32, 33].

O teste da Caixa e Blocos foi desenvolvido em 1985 por Mathiowetz et al. [34] para avaliação da

habilidade do membro superior. Consiste em uma caixa que contém uma divisória no meio mais alta que as bordas laterais, formando assim, dois compartimentos de iguais dimensões. Para realizar o teste, solicita-se ao participante deslocar os blocos, um por vez, de um compartimento para o outro durante um minuto [34, 35].

O aparelho para realização do teste de Coordenação Óculo-Manual de Melo é constituído por um microcontrolador, que contém um painel com sete figuras geométricas vazadas e sete pinos com as mesmas formas e dimensões das figuras vazadas, e que devem ser encaixados sequencialmente, nas formas correspondentes, indicando-as através de luz sinalizadora tipo *Light Emitter Diode* (LED) e sinal sonoro. Realizam-se três etapas (ciclos), entre as quais muda-se aleatoriamente a sequência da ordem e da posição espacial das formas geométricas, através de encaixes intercambiáveis no painel, no sentido de evitar vícios por memorização das posições das figuras. O tempo decorrido entre o acionamento das figuras e o encaixe dos pinos correspondentes é cronometrado automaticamente pelo microcontrolador, que ao final do teste fornece no mostrador o tempo gasto em cada ciclo e a média do tempo entre eles.

As intervenções foram realizadas com o jogo *Playground 3D*[®] do sensor de movimentos LMC. Todos os pacientes foram orientados a usar inicialmente apenas o membro superior não parético e encaixar os blocos nas cabeças dos robôs em movimento aleatório, durante 15 minutos de jogo. Logo após, o mesmo procedimento era realizado com o outro membro. As intervenções duraram 30 minutos. O jogo requiritava a utilização de movimentos de flexão-extensão do ombro, cotovelo, punho e mão, em direção ao objeto a ser capturado (**Figura 1**). O LMC é constituído por

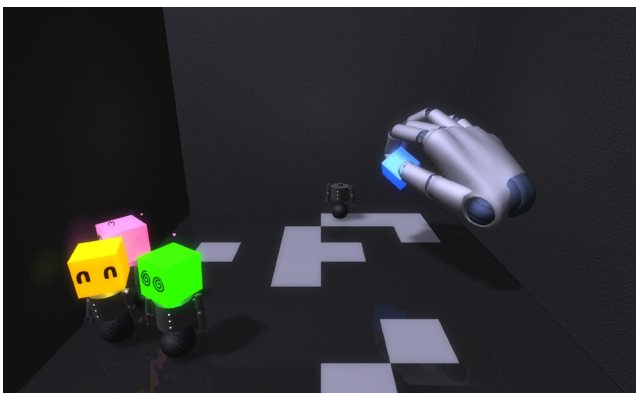


Figura 1. Jogo *Playground 3D*[®] do sensor de movimentos Leap Motion Controller (fonte: dados da pesquisa).

duas câmeras IR monocromáticas de até 300 quadros por segundo e três LEDs infravermelhas, dando ao dispositivo uma área semiesférica de observação com uma distância de aproximadamente 1 m [36].

CASO 1

Um homem de 48 anos, solteiro, destro, que sofreu AVC isquêmico no hemisfério esquerdo, há cinco anos. Não utilizava nenhum medicamento que comprometesse o desempenho motor. Obteve um escore de 29 pontos no MEEM. Na avaliação, constatou-se que o paciente apresentava hemiparesia direita, com marcante aumento do tônus muscular, com força de membro superior capaz de tocar um objeto fixo na tela do jogo. Após o programa de treinamento, houve redução bilateral do limiar motor no córtex cerebral. Ainda, observou-se uma redução no tempo de execução da tarefa de habilidade óculo-manual e maior número de blocos deslocados com o membro não parético (**Tabela 1**). Quando avaliada a experiência com o jogo, o paciente destaca que se sentiu habilidoso com o jogo, não se sentiu estressado utilizando o equipamento e continuaria o treinamento durante um período maior de sessões (**Tabela 2**).

CASO 2

Um homem de 60 anos, casado, destro, que sofreu AVC isquêmico no hemisfério esquerdo, há um ano e cinco meses. Não utilizava nenhum medicamento que comprometesse o desempenho motor. Obteve um escore de 24 pontos no MEEM. Apresentava hemiparesia direita, com discreto aumento do tônus muscular e com força de membro superior capaz de tocar um objeto fixo na tela do jogo. Nunca usou um computador, mas não houve dificuldade para realizar o treinamento com o LMC. No final do treinamento, houve redução acentuada do limiar motor do córtex cerebral de ambos os hemisférios, principalmente no lado não afetado pela lesão. Houve melhora similar no desempenho das tarefas de habilidade manual e óculo manual, em ambos os membros superiores (**Tabela 1**). Apesar do paciente relatar um pouco de fadiga após o treinamento, não considerou o tempo da sessão longo demais, cansativo ou entediante. Ao final, o paciente relatou que se sentiu bastante habilidoso e que continuaria no treinamento por um período maior (**Tabela 2**).

CASO 3

Uma mulher de 58 anos, casada, destra, que sofreu AVC isquêmico no hemisfério esquerdo, há dois anos. Não utilizava nenhum medicamento que

comprometesse o desempenho motor. Obteve um escore de 18 pontos no MEEM. Nunca tinha utilizado um computador, porém relatou pouca dificuldade para manipulá-lo; a falta de experiência não interferiu no treinamento com o LMC. Apresentava hemiparesia direita, com marcante aumento do tônus muscular e com força de membro superior capaz de tocar um objeto fixo na tela do jogo. Após o treinamento, houve acentuada redução no limiar motor cortical em ambos hemisférios cerebrais. Demonstrou melhor performance na habilidade manual e óculo-manual, com maior número de blocos deslocados e menor tempo de execução nas tarefas (**Tabela 1**). A paciente destacou que sentiu-se mais habilidosa e manipulou facilmente o jogo. Em um momento do jogo relatou pouco estresse, porém, continuaria o treinamento durante um período maior de sessões (**Tabela 2**).

CONCLUSÕES

Neste estudo, foram testadas a aplicabilidade do sensor de movimentos LMC e a experiência do participante com essa interface, através da interação com jogo. Os efeitos neurofisiológicos encontrados após a intervenção com o sensor de movimento e do jogo indicaram que o treinamento a curto prazo foi capaz de promover uma diminuição do limiar motor em ambos os hemisférios cerebrais, o que denota um aumento da excitabilidade cortical.

Neste sentido, estudos mostraram que a recuperação funcional do córtex lesionado envolve alterações na excitabilidade cortical [37]. Essas mudanças plásticas na excitabilidade cortical podem promover melhores desempenhos nas funções da extremidade superior do membro afetado de indivíduos pós AVC [38, 39].

Tabela 1. Resultados dos testes Limiar Motor Cortical, Caixa e Blocos e Coordenação Óculo-Manual de Melo nos três pacientes pós acidente vascular cerebral, antes e após intervenção com *Leap Motion Controller*. Laboratório de Neurociências e Comportamento da Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

Testes		Momento da avaliação					
		Antes da intervenção			Após a intervenção		
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Limiar Motor: amplitude da onda (%)	HD	58	67	75	50	50	58
	HE	83	70	77	80	53	59
Caixa e Blocos: número de blocos (n)	MSD	7	28	11	7	34	12
	MSE	48	29	45	65	35	61
Coordenação Óculo-Manual de Melo: tempo de execução (s)	MSD	15,07	53,46	34,25	13,64	47,31	29,28

HD: hemisfério direito. HE: Hemisfério esquerdo. MSD: membro superior direito. MSE: membro superior esquerdo.

Tabela 2. Resultados do questionário de avaliação da experiência dos três pacientes pós AVC depois da utilização do jogo com *Leap Motion Controller*. Laboratório de Neurociências e Comportamento da Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

Questões	Número de pacientes para cada resposta			
	Muito	Razoável	Pouco	Não
Você se envolveu com o jogo?	2	1		
O Jogo é fácil de entender?	2	1		
Você se sentiu estressado em qualquer momento do jogo?			1	2
Você se sentiu habilidoso, enquanto estava jogando o aplicativo?	3			
Os blocos para formar as cabeças dos robôs são facilmente capturados e manipulados?	2	1		
Você usaria o jogo novamente?	3			
A aplicação lhe causou algum tipo de fadiga muscular?			1	2
			Sim	Não
Você achou fácil a utilização dos movimentos?			2	1
É importante que o jogo lhe avise quando você cometer um erro?			3	
Você acredita que poderia continuar jogando no aplicativo por um longo tempo?			3	
Você achou fácil a realização dos movimentos requisitados pelo jogo?			3	
O dispositivo localiza sua mão no sensor e a reproduz na tela do jogo com facilidade?			3	

O treinamento proposto promoveu mudanças positivas na habilidade manual do membro superior não parético em todos os pacientes, assim como no membro superior parético em dois pacientes. Os resultados obtidos corroboram com estudos que relatam que este aprendizado motor só é possível devido à capacidade de reorganização e plasticidade do cérebro [40, 41] e à interação das vias contralaterais e ipsilaterais para promover a recuperação motora [42, 43].

A coordenação óculo-manual envolve o controle coordenado do movimento dos olhos e da mão, processando informações para orientar e manipular objetos [44]. Observou-se neste estudo que todos os pacientes reduziram o tempo de execução no teste de Coordenação Óculo-Manual de Melo, sugerindo uma melhor performance no teste. No mesmo sentido, estudos indicam que a habilidade óculo-manual é afetada em pacientes pós AVC e correlaciona-se com déficits sensorio-motores e testes de função da mão [45].

Durante o estudo, não se observou nenhum efeito adverso ou intercorrência que comprometesse a segurança do paciente. Essa ausência de efeitos adversos corrobora o levantamento realizado por Laver et al. [46] sobre o uso da RV para melhorar o desempenho de atividades em pacientes pós AVC, onde destacou poucos e pequenos relatos de eventos adversos.

Em poucos momentos do jogo, o rastreamento dos dedos foi perdido durante alguns instantes na realização do movimento, porém, não afetou o treinamento do paciente. Este mesmo problema foi apontado por Iosa et al. [47] quando a mão e os dedos são sobrepostos ou enrolados por causa da espasticidade grave.

Na avaliação da experiência do jogo, apesar de um relato sobre fadiga muscular e alguma sensação de estresse durante o jogo, os pacientes relataram que essas ocorrências não influenciaram no desempenho durante as intervenções. Apesar dos participantes serem adultos ou idosos e possuírem limitações físicas,

eles utilizaram de forma adequada o jogo e relataram sentir-se habilidosos durante o treinamento, além de afirmar que utilizariam a aplicação por um tempo maior. Assim, pode-se corroborar que a RV fornece um ambiente único, motivador e proporciona melhores adesões do paciente ao tratamento [18].

De modo geral, os participantes relataram que o LMC localizou a mão facilmente e reproduziu o movimento na tela do computador, como também, os objetos foram manipulados com facilidade. Um estudo realizado por Weichert et al. [48] mostrou a alta precisão do LMC, de 0,7 milímetros, enquanto o dispositivo *Microsoft Kinect*, não foi capaz de alcançar esta precisão.

Os resultados encontrados a partir da interação do jogo e do sensor de movimento mostram-se promissores no treinamento de RV realizado, além de proporcionar uma participação ativa dos pacientes na reabilitação das sequelas de extremidade superior após um AVC. Esse treinamento intensivo, proposto como ferramenta de reabilitação, proporcionou a curto prazo uma diminuição do limiar motor cortical, melhores desempenhos nos testes de habilidade manual e óculo-manual e foi bem recebido pelos pacientes testados. Tendo em vista que o LMC é uma ferramenta de baixo custo e promissora na reabilitação da extremidade superior, sugere-se que novos estudos com amostras maiores sejam realizados para fornecer evidências consistentes sobre o efeito desta tecnologia na reabilitação pós AVC.

NOTAS

Apoio financeiro

Este estudo não recebeu apoio financeiro de fontes externas.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses relevantes ao conteúdo deste estudo, informam ter tido acesso a todos os dados obtidos e assumem completa responsabilidade pela integridade dos resultados.

REFERÊNCIAS

1. Doi KY, Turchiari MA, Stopiglia M. O impacto do acidente vascular encefálico na qualidade de vida dos pacientes acompanhados em uma clínica de fisioterapia universitária. *Rev Inst Ciênc Saúde*. 2007;25(1):23-8.
2. Itaquy RB, Favero SR, Ribeiro MC, Barea LM, Almeida ST, Mancopes R. Dysphagia and cerebrovascular accident: relationship between severity degree and level of neurological impairment. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2011;23(4):385-9. <https://doi.org/10.1590/S2179-64912011000400016>
3. Mini-o AM, Murphy SL, XU J, Kochanek K. D. Deaths: final data for 2008. *Natl Vital Stat Rep*. 2011;59(10):1-126.
4. Soares NM, Galdino GS, Araújo DP. Índice de Depressão em sujeitos pós-AVC no município de Campina Grande – PB. *Rev Neurocienc*. 2014;22(2):215-20. <https://doi.org/10.4181/RNC.2014.22.02.931.6p>
5. Alexander LD, Black SE, Gao F, Szilagyi G, Danells CJ, Mcilroy WE. Correlating lesion size and location to deficits after ischemic stroke: the influence of accounting for altered peri-necrotic tissue and incidental silent infarcts. *Behav Brain Funct*. 2010;6:6. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-6-6>

6. Hoogen WVD, Feys P, Lamers I, Coninx K, Notelaers S, Kerkhofs L, Ijsselstein W. Visualizing the third dimension in virtual training environments for neurologically impaired persons: beneficial or disruptive? *J Neuroeng Rehabil.* 2012;9(1):73. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-73>
7. Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of walking function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76:27-32. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(95\)80038-7](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(95)80038-7)
8. Sunderland A, Tinson DJ, Bradley EL, Fletcher D, Langton Hewer R, Wade DT. Enhanced physical therapy improves recovery of arm function after stroke: a randomised controlled trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1992;55(7):530-5. <https://doi.org/10.1136/jnnp.55.7.530>
9. Feys HM, De Weerdts WJ, Selz BE, Cox Steck GA, Spichiger R, Vereeck LE, Putman KD, Van Hoydonck GA. Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: a single blind, randomized, controlled, multicenter trial. *Stroke.* 1998;29(4):785-92. <https://doi.org/10.1161/01.STR.29.4.785>
10. Chen JC, Shaw FZ. Progress in sensorimotor rehabilitative physical therapy programs for stroke patients. *World J Clin Cases.* 2014;2(8):316-26. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v2.i8.316>
11. Schmidt RA, Lee TD. Motor control and learning: a behavioral emphasis. 3^a ed. Champaign: Human Kinetics; 1999.
12. Dromerick AW, Edwards DF, Kumar A. Hemiplegic Shoulder pain syndrome: frequency and characteristics during inpatient stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(8):1589-93. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.10.051>
13. Santos GM, Souza ACS, Virtuoso JF, Tavares GMS, Manzo GZ. Valores preditivos para o risco de quedas em idosos praticantes e não praticantes de atividade física por meio do uso da Escala de Equilíbrio de BERG. *Rev Bras Fisioter.* 2011;15(2):95-101. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552011000200003>
14. Kalra L, Ratan R. Recent advances in stroke rehabilitation 2006. *Stroke.* 2007;38(2):235-7. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000254944.91297.a3>
15. Soares AV, Woellner SS, Andrade CS, Mesadri TJ, Bruckheimer AD, Hounsell MS. The use of virtual reality for upper limb rehabilitation of hemiparetic stroke patients. *Fisioter Mov.* 2014;27(3):309-17. <https://doi.org/10.1590/0103-5150.027.003.AO01>
16. Brewer FH, Hickey A, Williams D. Stroke rehabilitation: recent advances and future therapies. *QJM.* 2013;106(1):11-25. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcs174>
17. Gil-Gómez JA, Lloréns R, Alca-iz M, Colomer C. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *J Neuroeng Rehabil.* 2011 May 23;8:30. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-30>
18. González-Fernández M, Gil-Gómez JA, Alca-iz M, Noé E, Colomer C. eBaViR, easy balance virtual rehabilitation system: a study with patients. *Stud Health Technol Inform.* 2010;154:61-6. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-561-7-61>
19. Saposnik G, Mamdani M, Bayley M, Thorpe KE, Hall J, Cohen LG, Teasell R; EVREST Steering Committee; EVREST Study Group for the Stroke Outcome Research Canada Working Group. Effectiveness of Virtual Reality Exercises in Stroke rehabilitation (EVREST): rationale, design, and protocol of a pilot randomized clinical trial assessing the Wii gaming system. *Stroke.* 2010;5(1):47-51. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2009.00404.x>
20. Barcala L, Grecco LAC, Colella F, Lucareli PRG, Salgado ASI, Oliveira CS. Visual biofeedback balance training using wii fit after stroke: a randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci.* 2013 Aug;25(8):1027-32. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1027>
21. Mukamel R, Ekstrom AD, Kaplan J, Iacoboni M, Fried I. Single neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Curr Biol.* 2010 Apr 27;20(8):750-6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.045>
22. Rizzolatti G, Fabbri-Destro M. Mirror neurons: from discovery to autism. *Exp Brain Res.* 2010;200(3-4):223-37. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-2002-3>
23. Silva Cameirão M, Bermúdez I Badia S, Duarte E, Verschure PF. Virtual reality based rehabilitation speeds up functional recovery of the upper extremities after stroke: a randomized controlled pilot study in the acute phase of stroke using the Rehabilitation Gaming System. *Restor Neurol Neurosci.* 2011;29(5):287-98. <https://doi.org/10.3233/RNN-2011-0599>
24. Turolla A, Dam M, Ventura L, Tonin P, Agostini M, Zucconi C, Kiper P, Cagnin A, Piron L. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2013;10:85. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-85>
25. Brunner I, Skouen JS, Hofstad H, Strand LI, Becker F, Sanders AM, Pallesen H, Kristensen T, Michielsen M, Verheyden G. Virtual reality training for upper extremity in subacute stroke (VIRTUES): study protocol for a randomized controlled multicenter trial. *BMC Neurol.* 2014;14:186. <https://doi.org/10.1186/s12883-014-0186-z>
26. Costa TH, Soares NM, Reis WA, Bublitz FM. A systematic review on the usage of games for healthcare. In: International Conference on Consumer Electronics (ICCE Berlin). <https://doi.org/10.1109/icce-berlin.2015.7391316>
27. Farrow S, Reid D. Stroke survivors' perceptions of a leisure-based virtual reality program. *Technol Disabil.* 2004; 16(2):69-81.
28. Schafer AY, Ustinova KI. Does use of a virtual environment change reaching while standing in patients with traumatic brain injury. *J Neuroeng Rehabil.* 2013 July 16;10:76 <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-76>
29. Khademi M, Mousavi Hondori H, McKenzie A, Dodakian L, Lopes C, Cramer S. Free-hand interaction with leap motion controller for stroke rehabilitation. In: Proceeding CHI EA '14 CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. Toronto: ACM; 2014. p. 1663-8. <https://doi.org/10.1145/2559206.2581203>

30. Tung JY, Lulic T, Gonzalez DA, Tran J, Dickerson CR, Roy EA. Evaluation of a portable markerless finger position capture device: accuracy of the Leap Motion controller in healthy adults. *Physiol Meas*. 2015 May;36(5):1025-35. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/5/1025>
31. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-Mental State". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinicians. *J Psychiatr Res*. 1975 Nov;12(3):189-98. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
32. Wilson M, Knoblich G. The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychol Bull*. 2005 May;131(3):460-73. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.460>
33. Araújo DP. Determinação e modulação da excitabilidade cortical pela estimulação magnética transcraniana [tese]. [Brasília]: Universidade de Brasília; 2007.
34. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the box and block test of manual dexterity. *Am J Occup Ther*. 1985 June;39(6):386-91. <https://doi.org/10.5014/ajot.39.6.386>
35. Desrosiers J, Bravo G, Hébert R, Dutil E, Mercier L. Validation of the Box and Block Test as a measure of dexterity of elderly people: reliability, validity, and norms studies. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994 July;75(7):751-5.
36. Taylor J, Curran K. Using leap motion and gamification to facilitate and encourage rehabilitation for hand injuries: leap motion for rehabilitation. In: Novák D, Tulu B, Brendryen H. *Handbook of research on holistic perspectives in gamification for clinical practice*. Hershey, PA: IGI Global; 2016. p. 183-92. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9522-1.ch009>
37. Clarkson AN, Carmichael ST. Cortical excitability and post-stroke recovery. *Biochem Soc Trans*. 2009 Dec;37(Pt 6):1412-4. <https://doi.org/10.1042/BST0371412>
38. Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: a new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? *Lancet Neurol*. 2006 Aug;5(8):708-12. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(06\)70525-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(06)70525-7)
39. Alonso-Alonso M, Fregni F, Pascual-Leone A. Brain stimulation in poststroke rehabilitation. *Cerebrovasc Dis*. 2007;24(1):157-66. <https://doi.org/10.1159/000107392>
40. Woldag H, Hummelsheim H. Evidence-based physiotherapeutic concepts for improving arm and hand function in stroke patients: a review. *J Neurol*. 2002;249(5):518-28. <https://doi.org/10.1007/s004150200058>
41. Krouchev NI, Kalaska JF. Virtual worlds and games for rehabilitation and research. *Virtual Rehabil*. 2008:113-20. <https://doi.org/10.1109/icvr.2008.4625146>
42. Timmermans AA, Seelen HA, Willmann RD, Kingma H. Technology-assisted training of arm-hand skills in stroke: concepts on reacquisition of motor control and therapist guidelines for rehabilitation technology design. *J Neuroeng Rehabil*. 2009 Jan 20;6:1. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-1>
43. Jang SH. A review of the ipsilateral motor pathway as a recovery mechanism in patients with stroke. *NeuroRehabilitation*. 2009;24(4):315-20.
44. Tsang WW, Ng SS, Lee MW, Tse SP, Yip EW, Yuen JK. Does postural stability affect the performance of eye-hand coordination in stroke survivors? *Am J Phys Med Rehabil*. 2013 Sept;92(9):781-8. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3182876adb>
45. Gao KL, Ng SS, Kwok JW, Chow RT, Tsang WW. Eye-hand coordination and its relationship with sensori-motor impairments in stroke survivors. *J Rehabil Med*. 2010 Apr;42(4):368-73. <https://doi.org/10.2340/16501977-0520>
46. Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011 Sept 7;(9):CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008349.pub2>
47. Iosa M, Morone G, Fusco A, Castagnoli M, Fusco FR, Pratesi L, Paolucci S. Leap motion controlled videogame-based therapy for rehabilitation of elderly patients with subacute stroke: a feasibility pilot study. *Top Stroke Rehabil*. 2015 Aug;22(4):306-16. <https://doi.org/10.1179/1074935714Z.00000000036>
48. Weichert F, Bachmann D, Rudak B, Fisseler D. Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors (Basel)*. 2013 May 14;13(5):6380-93. <https://doi.org/10.3390/s130506380> 