

Técnicas de integración multisensorial en neurorehabilitación: El uso de la Realidad Virtual cómo herramienta terapéutica

Marta Matamala-Gomez^{1,2}, Roberto De Icco^{1,2}, Micol Avenali^{1,2}, Francesca Balsamo^{1,2}

¹Department of Neurology and Neurorehabilitation, IRCCS Mondino Foundation, Pavia, Italy; ²Department of Brain and Behavioral Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy

Resumen. El presente artículo pretende hacer una breve revisión de las diferentes técnicas de integración multisensorial en rehabilitación utilizando principalmente el feedback visual y que han llevado a la implementación de la realidad virtual como herramienta terapéutica. Actualmente, la realidad virtual está adquiriendo un papel importante en el campo de la rehabilitación, y en específico en el campo de la neurorehabilitación para el tratamiento de alteraciones motoras, cognitivas y síndormes dolorosos. Sin embargo, todavía es una icógnita cual es la manera más efectiva de aplicarla y que pacientes se pueden beneficiar en mayor grado de ella.

Palabras clave: técnicas de integración multisensorial, realidad virtual, entrenamiento mental.

MULTISENSORY INTEGRATION TECHNIQUES IN NEUROREHABILITATION: THE USE OF VIRTUAL REALITY AS A REHABILITATION TOOL

Abstract. This article aims to briefly review the different multisensory integration techniques by using visual feedback in rehabilitation that had led to the use of virtual reality as a rehabilitation tool. Today, virtual reality is taking a key role in the field of rehabilitation, especially in the field of neurorehabilitation, to treat motor, cognitive and pain disorders. However, it is unknown which is the best way to conduct this therapy and which kind of patients may get greater benefit from such therapy.

Key words: multisensory integration techniques, virtual reality, mental trainings

TECNICHE MULTISENSORIALI IN NEURORIABILITAZIONE: L'UTILIZZO DELLA REALTÀ VIRTUALE COME STRUMENTO RIABILITATIVO

Riassunto. Questo lavoro ha come obiettivo quello di fare una breve revisione sulle diverse tecniche d'integrazione multisensoriale in riabilitazione che usano principalmente il feedback visivo e che hanno portato all'utilizzo della realtà virtuale come strumento terapeutico. Attualmente, la realtà virtuale sta assumendo un ruolo importante nell'area della riabilitazione, particolarmente nell'area della neuroriabilitazione per il trattamento di disturbi motori, cognitivi e nelle sindromi dolorose. Tuttavia, non è ancora chiaro quale sia il modo più efficace di applicazione e quali pazienti potrebbero avere maggiori vantaggi.

Parole chiave: tecniche d'integrazione multisensoriale, realtà virtuale, allenamento mentale

Introducción

La Realidad Virtual (RV), es normalmente descrita como una ‘realidad’ que es ‘virtual’. Esta afirmación hace referencia al hecho de que cualquier situación que ocurra en el mundo real, puede ser programada para que ocurra dentro de un entorno virtual (1). De hecho, la realidad virtual ofrece la oportunidad de crear un entorno virtual con las mismas características de un escenario real en el cual los participantes tienen la posibilidad de percibir todos los detalles de las acciones que suceden en dicho escenario mediante la integración de diferentes ‘inputs’ sensoriales. Siguiendo con esta afirmación, es sabido que mediante la integración de diferentes ‘inputs’ sensoriales como la visión, el sonido, el tacto, la fuerza, el gusto y el olfato los cuales se combinan entre sí mediante procesos ‘bottom-up’ (sistema nervioso periférico al central) y ‘top-down’ (sistema nervioso central al periférico) basándose en las experiencias sensoriales vividas anteriormente, somos capaces de crear una representación coherente y consciente del entorno que nos rodea. Asimismo, en lo referente a los sistemas de realidad virtual (RV), el protagonista es el ‘input’ sensorial de la vista aunque en algunas ocasiones dichos sistemas pueden incluir también sonido, así como algún tipo de feedback táctil (2). Aún así, en los entornos de RV solo el feedback visual, es suficiente para crear la ilusión de que el entorno virtual o el cuerpo virtual es real (1). De hecho es sabido que en un entorno virtual donde es posible crear la ilusión de que el cuerpo virtual es real, los eventos o acciones que suceden en dicho entorno e interactúan con el cuerpo virtual pueden modificar las respuestas fisiológicas del cuerpo real. Un ejemplo es el estudio realizado por Gonzalez-Franco et al. en el 2014, donde mientras los participantes estaban encarnados en un cuerpo virtual mediante un sistema de realidad virtual inmersiva (RVI) observaban como un cuchillo ‘virtual’ atacaba su mano ‘virtual’. Asimismo, en el momento que el cuchillo ‘virtual’ atacaba la mano virtual de los participantes se producía una activación real de su corteza motora, indicando que los participantes respondieron de una manera realística al ataque virtual, apartando la mano real, lo que produjo una respuesta fisiológica real (activación del área motora).

Basándonos en los conceptos mencionados anteriormente, podemos argumentar que la vista es una

de las modalidades perceptivas más importantes la cual nos permite interactuar con el entorno que nos rodea (4), no obstante, es necesaria la integración y el procesamiento de diferentes tipos de señales sensoriales simultáneamente para poder interactuar totalmente con el entorno. Con este fin, es sabido que el cerebro tiene diferentes mecanismos neurales y corticales que nos permite combinar los diferentes inputs sensoriales que llegan a nuestro cuerpo con el objetivo de crear una representación coherente e unitaria de un evento o un objeto, produciendo así una consecuente respuesta adaptativa real a dicha representación (5).

Integración multisensorial en neurorehabilitación

Dicha sinergia entre diferentes modalidades sensoriales capaz de producir una representación unitaria y coherente del contexto es descrita como ‘integración multisensorial’. Así mismo, el hecho de procesar dos estímulos sensoriales provenientes de más de dos modalidades distintas, es conocido como estimulación intermodal (6). Sin embargo, aunque los estímulos sensoriales provengan de distintas modalidades, nuestro cerebro siempre tiende a organizar dicha información sensorial con el objetivo de obtener una representación coherente de los eventos u objetos que suceden en nuestro entorno.

Ilusión de la mano de goma

A propósito de lo comentado anteriormente, es sabido que dicho procesamiento intermodal (integración de inputs sensoriales provenientes de diferentes modalidades), puede llevar a generar ilusiones intermodales, como por ejemplo en el caso del estudio de la ilusión de la mano de goma (7). En este estudio, realizado por Botvinck & Cohen (1998), el participante fue capaz de sentir un estímulo táctil que el experimentador estaba aplicando a una mano falsa (de goma), esto fue posible debido a que durante el experimento el participante observaba como el experimentador tocaba de manera sincronizada la mano de goma (dentro del campo visual del participante) y la mano real (fuera del campo visual del participante). Finalmente, el experimentador atacaba la mano de goma y Técnicas de integración multisensorial en neurorehabilitación:

El uso de la Realidad Virtual como herramienta terapéutica (7) el participante respondía a dicho ataque apartando su mano real. Una vez más, en este estudio un objeto externo (brazo de goma) fue percibido como real creándose una ilusión intermodal, producida por la combinación de más de un estímulo sensorial. Dicha ilusión es producida de manera automática e inconsciente por nuestro cerebro con el objetivo de dar coherencia a un conflicto inter-sensorial (8), en este caso entre vista y tacto. Siguiendo en esta línea, diversos estudios han querido investigar cómo aplicar la ilusión de la mano de goma en el campo de la neurorehabilitación utilizando dicha ilusión como herramienta terapéutica para cambiar o normalizar la representación corporal en pacientes con alteraciones motoras y dolorosas (ver revisión Ramakonar et al. 2011).

Terapia del espejo

Después del conocido estudio de la mano de goma, una de las técnicas de ilusión intermodal más conocida es la terapia del espejo, que fue introducida por Ramachandran & Rogers-Ramachandran en el 1996. La terapia del espejo es una técnica simple no-invasiva introducida principalmente para tratar pacientes con dolor de origen central (sistema nervioso central), como en pacientes amputados, y pacientes con alteraciones motoras, como pacientes con hemiparesia debido a un ictus. Más tarde la aplicación de esta técnica en rehabilitación se fue extendiendo a diferentes patologías (10). En este caso y con el objetivo de inducir nuevamente una ilusión intermodal, el paciente se encuentra situado delante de un espejo, con el brazo sano a un lado del espejo y el brazo afecto en el lado contrario. A continuación el paciente debe mirar hacia el brazo sano a través del espejo y el reflejo de este parece visualmente superpuesto en la misma posición del brazo afectado. De este modo cuando el paciente mueve el brazo sano reflejado en el espejo y colocado en la misma posición que el brazo afecto, tiene la ilusión de estar moviendo el brazo afecto. En este caso el conflicto sensorial que genera dicha ilusión intermodal, se da entre la vista y el sistema motor, donde el cerebro atribuye el movimiento del brazo sano al brazo afectado con el objetivo de dar coherencia al conflicto sensorial.

Realidad virtual en rehabilitación

Actualmente la evolución de la tecnología, ha facilitado el uso de tales ilusiones intermodales en el campo de la rehabilitación. Un claro ejemplo es el uso de la RV, que ha sido impulsada como una potente herramienta de integración multisensorial en el campo de la rehabilitación y en específico en el de la neurorehabilitación. Recientemente, se ha destacado el uso de la RV para ofrecer al paciente una simulación realística en múltiples canales sensoriales al mismo tiempo, estimulando el sistema sensoriomotor con mayor potencia que con los tratamientos convencionales (10). Asimismo, se ha demostrado la capacidad de los sistemas de RV como herramienta terapéutica para la recuperación motora-funcional mediante la activación de las áreas motoras durante el entrenamiento (12). De hecho, en un estudio realizado por Robertson & Roby-Brami (2010), se destacó el efecto clave de la motivación en el uso de la RV para el reaprendizaje de patrones motores en pacientes con alteraciones neurológicas. No obstante, en los últimos años algunos estudios se han centrado en demostrar la efectividad de los sistemas de RV en la recuperación motora del brazo después de sufrir un ictus (14,15), así como en pacientes con apraxia (16) y con lesión medular (17). Otros autores también se han centrado en investigar la efectividad de los sistemas de realidad virtual en la recuperación de la marcha en pacientes con parkinson (18) y en pacientes con lesión medular (19). Igualmente, también han querido demostrar la eficacia de la RV en la reducción del dolor en pacientes con dolor neuropático (19), en específico en pacientes con distonía del miembro superior (21) y en amputados (22), así como en pacientes con dolor derivado de osteoartritis (23). Por último, se observó que el uso de la RV también puede ser de utilidad como herramienta cognitiva en pacientes que presentan heminegligencia después de sufrir un ictus (23).

De acuerdo con los estudios citados anteriormente, podemos postular que los entornos virtuales son diseñados basándose en la estimulación sensorial multimodal, donde nuestro cerebro debe integrar simultáneamente los diferentes 'inputs' sensoriales que llegan a nuestro cuerpo, convirtiéndolos en una herramienta prometedora para los protocolos de rehabilitación que requieren de integración multisensorial (11).

Beneficios y futuros estudios de la RV en rehabilitación

Cabe destacar que en los últimos diez años ha habido un crecimiento en el interés hacia las técnicas de entrenamiento mental que tienen como objetivo acelerar o mejorar los procesos de rehabilitación desde un punto de vista cognitivo-motor, especialmente en pacientes con lesiones neurológica que han perdido la movilidad de alguna parte del cuerpo, dónde el entrenamiento mental es una gran alternativa al entrenamiento motor convencional. Este nuevo enfoque terapéutico que ha abierto la puerta a la introducción de la RV en rehabilitación, ha sido de interés en diferentes áreas de investigación, tales como en la psicología del deporte, psicología cognitiva y la neurociencia cognitiva diferenciándose claramente de las técnicas de recuperación motora tradicionales.

Tal y cómo se ha dejado ver a lo largo de este artículo, introducir terapias de estimulación multisensorial mediante el uso de sistemas de realidad virtual puede potenciar el aprendizaje motor y la estimulación cognitiva en los programas de rehabilitación así como reducir el dolor en pacientes que sufren de dolor crónico. Por un lado, desde un punto de vista clínico, la posibilidad de adaptar los entornos de RV con el objetivo de potenciar la motivación, los procesos cognitivos, el control motor, y el feedback sensorial, basándose en los mecanismos de aprendizaje, es óptimo para la intervención con los pacientes en rehabilitación (25). No obstante, aunque un gran número de estudios demuestran los efectos positivos del uso de la RV en rehabilitación, todavía es una incógnita cual es la manera más efectiva de aplicar dichos sistemas en rehabilitación (immersiva vs. no-immersiva), así como que tipo de pacientes pueden beneficiarse con mayor intensidad de un modo u otro. En relación a esta observación, aunque son pocos y han utilizado muestras pequeñas, algunos estudios han empezado a demostrar la eficacia de los sistemas de RV immersiva en rehabilitación, en la cual el paciente se encuentra realmente inmerso en el entorno virtual encarnado en un cuerpo virtual, potenciando la sensación de presencia en el entorno virtual, así como la sensación de control de los movimientos del cuerpo virtual (19). Sin embargo, son necesarios más estudios utilizando sistemas de RV immersiva dónde el pacien-

te se encuentra realmente encarnado en un cuerpo virtual para probar su efectividad.

Conclusión

La RV ofrece un gran abanico de posibilidades como técnica de estimulación multisensorial en rehabilitación. El uso de la RV en rehabilitación y en específico en la neurorehabilitación, permite potenciar la estimulación motora y cognitiva con mayor intensidad que utilizando técnicas de rehabilitación convencionales. Sin embargo, todavía es un campo desconocido en la práctica clínica dónde son necesarios estudios que refuercen los beneficios de dicha técnica en rehabilitación para definir el modo más efectivo de aplicarla y el tipo de pacientes que pueden beneficiarse de ella en mayor grado.

Bibliografía

1. Slater M, Sanchez-Vives M V. Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Front Robot AI*. 2016;3:74.
2. Slater M, Perez-Marcos D, Ehrsson HH, Sanchez-Vives M V. Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 2008 Jan [cited 2014 Jul 11];2:6. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2572198&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
3. González-Franco M, Peck TC, Rodríguez-Fornells A, Slater M. A threat to a virtual hand elicits motor cortex activation. *Exp Brain Res* [Internet]. 2014 Mar 13 [cited 2017 Apr 21];232(3):875–87. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-013-3800-1>
4. Wade NJ, Swanston M. *Visual perception : an introduction*. Psychology Press; 2013. 321 p.
5. Stein BE, Meredith MA. *The merging of the senses*. [Internet]. The MIT Press; 1993 [cited 2017 Mar 29]. Available from: <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1993-97278-000>
6. Spence C. *Cross-modal perceptual organization*. Oxford Univ Press. 2012;(2007):1–16.
7. Botvinick M, Cohen J. Rubber hands' feel'touch that eyes see. *Nature* [Internet]. 1998 [cited 2016 Jun 23]; Available from: <http://www.psychology.mcmaster.ca/bennett/psy720/readings/m5/botvinick.pdf>
8. Munhall K, Gribble P, Sacco L, Ward M. Temporal constraints on the McGurk effect. *Percept Psychophys* [Internet]. 1996 [cited 2017 Mar 30]; Available from: <http://link.springer.com/article/10.3758/BF03206811>
9. Ramakonar H, Franz EA, Lind CRP. The rubber hand illusion and its application to clinical neuroscience. *J Clin Neurosci* [Internet]. 2011 Dec [cited 2017 Mar

- 29];18(12):1596–601. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967586811003201>
10. Rothgangel AS, Braun SM, Beurskens AJ, Seitz RJ, Wade DT. The clinical aspects of mirror therapy in rehabilitation: a systematic review of the literature. *Int J Rehabil Res* [Internet]. 2011;34(1):1–13. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21326041>
 11. Bohil CJ, Alicea B, Biocca FA. Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nat Rev Neurosci* [Internet]. 2011 Nov 3 [cited 2017 Apr 8];12(12):752. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nrn3122>
 12. Adamovich S, Fluet G, Tunik E, Merians A. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabilitation* [Internet]. 2009 [cited 2014 Oct 14]; Available from: <http://iospress.metapress.com/index/M873432N707KX660.pdf>
 13. Robertson J, Roby-Brami A. Augmented feedback, virtual reality and robotics for designing new rehabilitation methods. *Rethink Phys Rehabil* [Internet]. 2010 [cited 2017 Apr 10]; Available from: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-2-8178-0034-9_12
 14. Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Phys Ther* [Internet]. 2015 Mar [cited 2017 Mar 3];95(3):415–25. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25212522>
 15. Cameirão MS, Badia SB i, Duarte E, Frisoli A, Verschure PFMJ. The combined impact of virtual reality neurorehabilitation and its interfaces on upper extremity functional recovery in patients with chronic stroke. *Stroke* [Internet]. 2012 Oct 1 [cited 2015 Feb 11];43(10):2720–8. Available from: <http://stroke.ahajournals.org/content/43/10/2720.short>
 16. Candidi M, Sacheli LM, Era V, Canzano L, Tieri G, Aglioti SM. Come together: Human-avatar on-line interactions boost joint-action performance in apraxic patients. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2017;12(11):1793–802.
 17. Fusco G, Tidoni E, Barone N, Pilati C, Aglioti SM. Illusion of arm movement evoked by tendon vibration in patients with spinal cord injury. *Restor Neurol Neurosci*. 2016;34(5):815–26.
 18. Mirelman A, Rochester L, Maidan I, Din S Del, Alcock L. Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME): a randomised controlled trial. *Lancet* [Internet]. 2016 [cited 2017 Jan 31]; Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673616313253>
 19. Donati ARC, Shokur S, Morya E, Campos DSF, Moiola RC, Gitti CM, et al. Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients. *Sci Rep* [Internet]. 2016 Sep 11 [cited 2017 Mar 24];6(1):30383. Available from: <http://www.nature.com/articles/srep30383>
 20. Mouraux D, Brassinne E, Sobczak S. 3D augmented reality mirror visual feedback therapy applied to the treatment of persistent, unilateral upper extremity neuropathic pain: a preliminary study. *J Man*. 2016;
 21. Llobera J, González-Franco M. Virtual reality for assessment of patients suffering chronic pain: a case study. *Exp Brain ...* [Internet]. 2013 [cited 2015 Jul 15]; Available from: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00221-012-3352-9>
 22. Murray CD, Pettifer S, Howard T, Patchick EL, Caillette F, Kulkarni J, et al. The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: Three case studies. <http://dx.doi.org/10.1080/09638280601107385>. 2009;
 23. Preston C, Newport R. Analgesic effects of multisensory illusions in osteoarthritis. *Rheumatology*. 2011;
 24. Pedroli E, Serino S, Cipresso P. Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: a systematic review. *Front Behav* [Internet]. 2015 [cited 2016 Nov 17]; Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4548208/>
 25. Weiss P, Keshner E, Levin M, Sharkey P. Applying virtual reality technologies to motor rehabilitation. *Clin Appl New York (NY)...* [Internet]. 2014 [cited 2017 Apr 10]; Available from: https://scholar.google.com/scholar?as_ylo=2013&q=Applying+virtual+reality+technologies+to+motor+rehabilitation:+virtual+reality+technologies+for+health+and+clinical+applications&hl=es&as_sdt=0,5



FONDAZIONE
MONDINO
Istituto Neurologico Nazionale
a Carattere Scientifico | IRCCS

Sistema Sanitario  Regione
Lombardia



DIPARTIMENTO DI SCIENZE
DEL SISTEMA NERVOSO
E DEL COMPORTAMENTO
UNIVERSITÀ DI PAVIA

RESEARCH
SEMINARS 2018

TRANSFORMING THE BODY IN VIRTUAL REALITY

Lunedì 23 luglio 2018 ore 15.00 - 16.30

Aula Berlucci - IRCCS Fondazione Mondino
via Mondino 2, Pavia

MODERATORI

**Giorgio Sandrini,
Cristina Tassorelli**

*IRCCS Fondazione Mondino, Pavia
e Università di Pavia*

RELATORE

Maria V. Sanchez-Vives

*Institute of Biomedical Research August Pi i Sunyer
(IDIBAPS)*

*EVENT Lab (Experimental Virtual Environments in
Neuroscience and Technology), University of Barcelona*

echo.pv.it



Coordinamento: Ufficio Formazione&Informazione, IRCCS Fondazione Mondino, Pavia

E-mail: formazione.informazione@mondino.it

La partecipazione è libera. Verrà rilasciato il certificato di partecipazione.

Iscrizione online: corsi.mondino.it/corsi_list.php (previa registrazione dei propri dati)