

Uso de tecnología en rehabilitación

Pilar Alvial P.

Servicio Medicina Física y Rehabilitación, HCUCH.

SUMMARY

Technology has had a great impact in daily life, and also in medicine. In rehabilitation, it has been introduced for assistance of disabilities, improve adherence to therapies, etc. There is a gap in the needs of these devices and the access to them, and one of the issues is that there are few trained personnel. This narrative review focuses on some definitions of robotics, wearable technology and virtual reality, with the aim of providing the reader of basic knowledge to understand further research in the area. Some examples of applications of technology in stroke, spinal cord injury and brain injury are summarized.

El explosivo avance de la tecnología con el extendido uso de *smartphones* y *tablets* en la vida cotidiana ha tenido una repercusión importante en la forma cómo las personas interactúan entre ellas y con el mundo. Del mismo modo, en medicina los avances tecnológicos están cambiando el paradigma de cómo enfrentar tanto el diagnóstico como tratamiento de diferentes enfermedades. Específicamente en rehabilitación, el uso de diferentes innovaciones tecnológicas puede tener variados propósitos: como parte de la terapia, de asistencia, para mejorar adherencia, con fines adaptivos, etc. con el objetivo final de proveer una mejoría en la forma en que las personas interactúan con su entorno para mantener su función e independencia⁽¹⁾.

El término “tecnología de asistencia” (*assistive technology*) corresponde a un concepto amplio que incluye desde anteojos de lectura hasta exoesqueletos y puede ser definido como “cualquier ítem, equipo o producto, ya sea adquirido comercialmente,

modificado o adaptado, que se usa para aumentar, mantener o mejorar las capacidades funcionales de una persona con discapacidad”⁽²⁾.

En el año 2010, la Organización Mundial de la Salud demostró que en la mayoría de los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, tan sólo un 5-15% de las personas que requerían aditamentos y tecnología de asistencia tenía acceso a ellos. Esta escasez se debe a una baja disponibilidad, costos que pueden llegar a ser prohibitivos y la falta de conocimiento por parte de los profesionales de la salud sobre este tema^(3,4).

Con el objetivo de poder abordar este último punto, este artículo de revisión busca familiarizar al lector con diferentes conceptos usados en la descripción de diferentes aplicaciones tecnológicas como robótica o realidad virtual. De este modo, podrá acercarse y ahondar más en publicaciones científicas y descripciones técnicas

con mayor claridad. Para concluir este escrito, se ejemplificarán aplicaciones tecnológicas en patologías claves en neurorehabilitación.

DEFINICIONES

Un “robot” corresponde a un sistema autónomo que existe en el mundo físico que puede censar el ambiente y realizar una acción en función de eso para lograr algún objetivo⁽⁵⁾. Por lo tanto, para que una máquina pueda clasificarse como tal debe (i) Censar y percibir, (ii) Realizar diferentes tareas, (iii) Ser reprogramable y (iv) Funcionar en forma autónoma y/o interactuar con humanos. En rehabilitación su función va orientada principalmente a reemplazar, entrenar o asistir la función, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de un individuo. La parte física de la máquina que se puede ver y tocar corresponde al *hardware*, mientras que los programas informáticos y aplicaciones que hacen posible cumplir con los objetivos planteados corresponden al *software*.

El robot adquiere e interpreta las señales externas mediante “sensores”, como por ejemplo, sensores de presión o temperatura, y ejecutan su tarea mediante “actuadores”, como motores hidráulicos o neumáticos que mueven un brazo robótico. Un concepto bastante frecuente de encontrar en literatura de robótica médica es el de “grados de libertad” (GDL o en inglés *degrees of freedom* - DoF), que se refiere al número de movimientos independientes de un cuerpo rígido. Por ejemplo, una articulación tipo bisagra como las interfalángicas tiene 1 GDL: flexo/extensión, mientras que el hombro tiene 3 GDL: flexo/extensión en el eje frontal, abducción/aducción en forma sagital y rotación. Aplicando

este concepto a manos protésicas, el gancho tiene 1 GDL, mientras que las manos mioeléctricas tienen 2 GDL y los últimos modelos de manos biónicas tienen hasta 24 GDL^(*).

La forma en que el humano entrega información a la máquina sobre qué hacer o realizar ajustes es la interface, por ejemplo, una pantalla *touch* o un *joystick*. Por otra parte, la máquina debe también mantener al usuario al tanto del progreso de los comandos o ir ejecutando los comandos en el espacio físico. El uso de un *feedback* táctil, ya sea mediante fuerzas, vibraciones o movimientos de la máquina hacia el usuario, se llama “háptica”. Esta tecnología ha permitido que los objetos virtuales parezcan más tangibles, agregando más información sensorial a la imagen visual.

Un ejemplo de robótica aplicada a rehabilitación es la de los exoesqueletos. La FDA definió el concepto de exoesqueleto motorizado como “un dispositivo prescrito compuesto de una órtesis externa, motorizada con objetivos médicos que se posiciona sobre las extremidades paralizadas o debilitadas de una persona con el objetivo de generar marcha”⁽⁶⁾. El principal enfoque en que se han usado los exoesqueletos ha sido en disminuir la carga de terapéuticos y aumentar el número de repeticiones necesarias para lograr un efecto en el paciente^(7,8). De este modo se busca ocupar la terapia asistida por tecnología como forma de aliviar la creciente presión de los diferentes sistemas de salud⁽⁹⁾.

Otra de las ventajas del uso de robótica en rehabilitación es la capacidad que tienen éstos de medir en forma cuantitativa diferentes variables durante el proceso de entrenamiento y así realizar evalua-

(*)A. Atasoy, E. Kaya, E. Toptas, S. Kuchimov, E. Kaplanoglu, M. Ozkan. 24 DOF EMG controlled hybrid actuated prosthetic hand. 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)

ciones *in situ* del estado del paciente. Sensores integrados dentro del robot capaces de valorar cambios en el rango articular o acelerómetros pueden crear nuevos protocolos de evaluación dada las altas condiciones de repetitividad que entregan este tipo de dispositivos⁽¹⁰⁾. Estas mediciones son mucho más precisas, sensibles, eficientes en tiempo y confiables que las usadas habitualmente en la práctica clínica y tienen el potencial de mejorar la forma en que se objetivan los *outcomes* en rehabilitación^(8,10). Por otra parte, las mismas evaluaciones pueden ser entregadas en tiempo real al paciente, buscando mejorar la adherencia y el compromiso del paciente en la terapia⁽¹⁰⁾.

La “tecnología de vestir” o *wearable* corresponde a cualquier tipo de equipo compacto que puede ser vestido como accesorio que detecte alguna variable fisiológica del usuario. Una de las principales características que lo ha hecho muy atractivo en el mercado es que permite un grado de interacción con el portador entregado mediante voz o *input* físico⁽¹¹⁾. Uno de los primeros equipos fue el cuentapasos y posteriormente la revolución del mercado ha llevado a la existencia de un gran abanico de posibilidades como Fitbit® en sus diferentes versiones, Applewatch®, etc. Su uso principal es en acondicionamiento físico, pero a medida que la tecnología se vuelve más accesible y pequeña, se espera que sea usada con mayor frecuencia en diferentes contextos terapéuticos tanto en la etapa aguda como crónica⁽¹²⁾.

El uso de estos sistemas para el monitoreo de pacientes ha demostrado ser una herramienta eficiente para la prevención, detección y manejo de enfermedades crónicas⁽¹²⁾. Estos pequeños aparatos pueden estar conectados a internet mediante teléfonos móviles para así recolectar datos en una nube. Esta información puede ser transmitida y procesada para posteriormente ser enviada de vuelta al usuario mediante alertas, recordatorios,

advertencias o notificaciones de otras acciones. El uso de este tipo de tecnología no es sólo una herramienta para la recolección de datos en salud, sino que también ofrece el potencial de un mayor compromiso y mejor autocontrol de enfermedades crónicas⁽¹²⁾. Este sistema de control de información centrado en el paciente orienta a un cambio en el paradigma de control y toma de decisiones, en que la responsabilidad es compartida entre el tratante y paciente, debido a un empoderamiento de éste y/o de su cuidador al recibir directamente la información desde el equipo⁽¹³⁾.

En la “realidad virtual”, el entorno simula la presencia en lugares del mundo real o imaginario y permite al usuario interactuar con dicho mundo. Un ejemplo de esto es la telemedicina. La realidad virtual ha demostrado su utilidad en neurorehabilitación, ya que aumenta la motivación en pacientes; específicamente se ha visto que la realidad virtual inmersiva puede estimular las neuronas en espejo de la corteza motora, promoviendo así la neuroplasticidad^(8,14). Tiene como desventaja que no es capaz de entregar retroalimentación a la extremidad paralizada, por lo que la combinación con háptica y robótica es una muy promisoriosa línea de desarrollo^(8,10). Uno de los principales problemas del uso de realidad virtual es la aparición de vértigo, limitando su aplicación a una mayor población de pacientes y patologías⁽⁸⁾.

Los videojuegos han sido integrados a las terapias de rehabilitación con el objetivo de aumentar la motivación y el disfrute de pacientes que se ven enfrentados a terapias dolorosas o monótonas. Dentro de sus ventajas se incluye que son de bajo costo comparado con otros equipos de rehabilitación, están disponibles comercialmente, existe una gran variedad de juegos que permite elegir según la preferencia del paciente y tienen la capacidad de mantener a los usuarios comprometidos⁽¹⁵⁾. Actualmente es usado principalmente por terapeutas

para disminuir el riesgo de caídas en adultos mayores⁽¹⁵⁾.

Un aspecto importante a considerar a futuro es si estos aparatos y aplicaciones tienen o no que pasar por una autoridad regulatoria como la FDA o MHRA para ser aprobados como “equipo médico” antes de ser usados en pacientes⁽¹⁴⁾.

ACCIDENTE CEREBROVASCULAR

El entrenamiento asistido por tecnología es una alternativa para ayudar a los terapeutas en entregar tratamiento de alta intensidad, repetitivo y enfocado en tareas específicas con el objetivo de promover la neuroplasticidad y el aprendizaje motor^(9,13,16). La guía actual de manejo postaccidente vascular de la American Heart Association (AHA) recomienda el uso de terapia asistida por robots en extremidad superior con evidencia Clase IIb con el objetivo de recuperar movilidad^(16,17). Un estudio de costo efectividad comprobó que contrario a lo que se esperaba, introducir este tipo de aditamentos en la práctica clínica no aumentó los costos asociados a la atención de estos pacientes⁽¹⁶⁾.

Los robots de extremidad superior se pueden dividir en:

Exoesqueletos: corresponden a estructuras que asemejan la extremidad superior con articulaciones robóticas en la misma posición que las del paciente. Dado que asisten todo el movimiento son adecuados para pacientes con escasa actividad de la extremidad. Ejemplos: ARMEO® y T-WERX⁽⁹⁾.

Efectores terminales (*End-effectors*): sostienen la mano o antebrazo del paciente, generando fuerzas en la interface. Simulan la trayectoria de la mano con el objetivo de una tarea específica. Necesitan un grado de activación por parte del paciente, por lo que pueden ser usados en una etapa posterior

al uso de exoesqueletos o en pacientes con menor déficit motor. Ejemplos: InMotion Robot® y NeReBot® (Neuro-rehabilitation Robot)⁽⁹⁾.

Un metaanálisis publicado en el año 2017 sobre el efecto en extremidad superior de terapia asistida por robots medida con la escala de Fugl-Meyer encontró una mejoría estadísticamente significativa a favor de esta tecnología⁽⁹⁾. El mismo trabajo también mostró un efecto estadísticamente significativo para actividades de la vida diaria, medido a través de la escala FIM, pero sólo en pacientes en fase crónica; no, en aguda. En cuanto al efecto en el tono muscular medido con la escala MAS, no se encontró diferencias⁽⁹⁾.

En extremidades inferiores, el uso de exoesqueletos para rehabilitación de marcha puede dividirse en los que son basados en caminadoras, como Lokomat® o en órtesis de extremidades inferiores sobre diferentes terrenos como ReWalk^{®(7,8)}. La evidencia no ha demostrado que el exoesqueleto en caminadora sea mejor en el soporte parcial de peso asistido por terapeutas en cuanto a la eficacia⁽⁷⁾. Existen muchos exoesqueletos con motor disponibles en el mercado como Ekso®, Rewalk®, Indego®, los que permiten realizar marcha en diferentes terrenos. Una de las principales diferencias comparadas con los que se usan en caminadora es que requieren de un grado de participación del paciente para iniciación del movimiento, control de tronco y navegación del terreno. Se ha concluido en diferentes estudios que el efecto positivo de los exoesqueletos en el entrenamiento de marcha en pacientes subagudos es mayor que en pacientes crónicos⁽⁷⁾. Aún queda por definir el cuándo, cómo, a quién; por el momento es sólo decisión del terapeuta.

Una revisión sistemática realizada en el año 2016 encontró una escasa cantidad de estudios con pequeñas muestras, evaluando el uso de tecnología de vestir en la recuperación de pacientes después

de un accidente vascular: sólo existe una pequeña evidencia de su beneficio en la participación de pacientes en su entorno social⁽¹³⁾.

Se requieren más estudios para confirmar estos hallazgos y comprender de mejor manera la patofisiología postaccidente vascular y su recuperación motora y funcional⁽⁹⁾.

LESIÓN MEDULAR

El uso de exoesqueletos para la rehabilitación de marcha en pacientes con lesión medular es un tema muy recurrente en la prensa. La asistencia robótica permite aumentar la duración del entrenamiento, realizar patrones de marchas reproducibles y monitorizar de más cerca el progreso de los pacientes durante las terapias⁽¹⁸⁾. Dada la heterogeneidad de características de movilidad y nivel de ejecución de este tipo de ayudas técnicas, no existe suficiente evidencia estadística para demostrar sus ventajas⁽¹⁹⁾. Incluso, al compararlo con terapia convencional en similares dosis, no se ha demostrado que ninguna de las intervenciones sea superior⁽²⁰⁾.

Los escasos trabajos que existen muestran efectos beneficiosos desde el punto de vista cardiovascular y músculo-esquelético⁽¹⁹⁾. Además se cree que pueden contribuir a la reducción del dolor y la espasticidad^(21,22). Incluso en el trabajo de Zeilig *et al* se reportó mejoría a nivel vesical e intestinal después del entrenamiento con ReWalk[®]⁽²²⁾.

TRAUMA ENCEFALOCRANEANO

Un estudio randomizado controlado investigó la efectividad del entrenamiento de marcha asistida por robots en trauma encéfalo-craneano⁽²³⁾, encontrando sólo una mejoría en la simetría de la marcha al compararlo con asistencia manual con soporte parcial de peso. Otros parámetros de marcha no presentaron diferencias^(20,23).

El predominio de déficits cognitivos en esta patología hace que el uso de la tecnología tenga un enfoque diferente: las redes sociales tienen un valor más importante en rehabilitación, ya que tienen la capacidad de disminuir el aislamiento social de los pacientes y aumenta el sentido de pertenencia de la comunidad de personas que tienen un TEC⁽²⁴⁾. Otra forma de ocupar este tipo de tecnología es mediante la telerehabilitación para el entrenamiento de habilidades cognitivo-comunicativas y acompañamiento de familiares⁽¹⁾.

Se ha visto además que en estos pacientes es importante entregar instrucciones directas de cómo usar aplicaciones de un *smartphone* para retomar actividades normales previas al accidente⁽¹⁾. Estudios recientes orientan a que el entrenamiento cognitivo mediante programas computacionales puede llevar a mejores *outcomes* en personas con dificultades cognitivo-comunicativas después de un TEC al ser usadas con otros métodos^(1,25).

REFERENCIAS

1. Brunner M, Hemsley B, Togher L, Palmer S. Technology and its role in rehabilitation for people with cognitive-communication disability following a traumatic brain injury (TBI). *Brain Injury* 2017;31:1028-43.
2. Karin van Niekerk, Shakila Dada, Kerstin Tönsing, Kobie Boshoff. Factors perceived by rehabilitation professionals to influence the provision of assistive technology to children: a systematic review. *Phys Occup Ther* 2018;38:168-89.
3. WHO. Community-based rehabilitation guidelines. Geneva: WHO; 2010.
4. Matter R, Harniss M, Oderud T, Borg J, Eide AH. Assistive technology in resource-limited environments: A scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2017;12:105-14.
5. Mataric M. What is a robot? Defining robotics. En: *The robotics primer*. Cambridge: MIT Press, 2007:1-6.
6. Food and Drug Administration, HHS. Medical devices; physical medicine devices; classification of the powered lower extremity exoskeleton; republication. Final order; republication. *Fed Regist* 2015;80:25226-30.
7. Louie, Dennis R., and Janice J. Eng. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review. *J Neuroeng Rehabil* 2016;13:53.
8. Zhang, Xue, Zan Yue, and Jing Wang. Robotics in Lower-Limb Rehabilitation after Stroke. *Behav Neurool* 2017; article ID 3731802.
9. Bertani R, Melegari C, De Cola MC, Bramanti A, Bramanti P, Calabrò RS. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. *Neurol Sci* 2017;38:1561-9.
10. Maggioni S, Melendez-Calderon A, van Asseldonk E, Klamroth-Marganska V, Lünenburger L, Riener R *et al.* Robot-aided assessment of lower extremity functions: a review. *J Neuroeng Rehabil* 2016;13:72.
11. Iqbal M, Aydin A, Brunckhorst O, Ahmed K. A review of wearable technology in medicine. *J Roy Soc Med* 2016;109:372-80.
12. Baig, Mirza Mansoor, et al. A systematic review of wearable patient monitoring systems—current challenges and opportunities for clinical adoption. *J Med Syst* 2017;41:115.
13. Powell L, Parker J, Martyn St-James M, Mawson S. The effectiveness of lower-limb wearable technology for improving activity and participation in adult stroke survivors: a systematic review. *J Med Internet Res* 2016;18:e259.
14. Harms, Michele. Advancing technology in rehabilitation. *Physiotherapy* 2012;98:181-2.
15. Ravenek KE, Wolfe DL, Hitzig SL. A scoping review of video gaming in rehabilitation. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2016;11:445-53.
16. Krebs, Volpe. Robotics: A rehabilitation modality. *Curr Phys Med Rehab Reports* 2015;3:243-7.
17. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC *et al.* Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2016;47:e98-e169.
18. Hidler J, Sainburg R. Role of robotics in neurorehabilitation. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2011;17:42-9.
19. Contreras-Vidal JL, A Bhagat N, Brantley J, Cruz-Garza JG, He Y, Manley Q *et al.* Powered exoskeletons for bipedal locomotion after spinal cord injury. *J Neural Eng* 2016;13:031001.

20. van Hedel HJA, Severini G, Scarton A, O'Brien A, Reed T, Gaebler-Spira D *et al.* Advanced Robotic Therapy Integrated Centers (ARTIC): an international collaboration facilitating the application of rehabilitation technologies. *J Neuroeng Rehabil* 2018;15:30.
21. Esquenazi A, Talaty M, Packel A, Saulino M. The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil* 2012;91:911-21.
22. Zeilig G, Weingarden H, Zwecker M, Dudkiewicz I, Bloch A, Esquenazi A. Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study. *J Spinal Cord Med* 2012;35:96-101
23. Esquenazi A, Lee S, Packel AT, Braitman L. A randomized comparative study of manually assisted versus robotic-assisted body weight supported treadmill training in persons with a traumatic brain injury. *PM R*. 2013;5:280–90.
24. Esquenazi A, Lee S, Packel AT, Braitman L. The use of emails and texts in psychological therapy after acquired brain injury. *PM R* 2013;5:280-90.
25. De Luca R, Calabrò RS, Gervasi G, De Salvo S, Bonanno L, Corallo F *et al.* Is computer-assisted training effective in improving rehabilitative outcomes after brain injury? A case-control hospital-based study. *Disabil Health J* 2014;7:356-60.
26. Li K, Alonso J, Chadha N, Pulido J. Does generalization occur following computer-based cognitive retraining?—an exploratory study. *Occup Ther Health Care* 2015;29:283-96.

CORRESPONDENCIA



Dra. Pilar Alvial Palavicino
 Servicio Medicina Física y Rehabilitación
 Hospital Clínico Universidad de Chile
 Santos Dumont 999, Independencia, Santiago
 Teléfono: 562 2978 8040
 E-mail: palvial@hcuch.cl