

Introducción a la rehabilitación robótica para el tratamiento de la enfermedad vascular cerebral: revisión

MCD Dr. Pavel Loeza Magaña*

RESUMEN

Se trata de una revisión cuyo objetivo es identificar al paciente con EVC que sea candidato a tratamiento con rehabilitación robótica así como los beneficios obtenidos con ésta. Se realizó búsqueda de estudios experimentales, cuasiexperimentales, guías clínicas y revisiones sistemáticas relacionadas con rehabilitación robótica en tratamiento de la enfermedad vascular cerebral en bases de datos PubMed, Science Direct, Medigraphic y Google Scholar, donde se pudiera obtener una clasificación de los tratamientos, selección de pacientes y beneficios obtenidos. El paciente debe contar con características precisas para llevar un tratamiento sin riesgo y con el que se pueda obtener un resultado óptimo, el tratamiento debe llevar parámetros, tareas, objetivos y mediciones de los logros a través de valoración clínica y escalas, así como una combinación de técnicas. **Conclusión:** El tratamiento robótico nunca sustituirá a la terapia física convencional y hay que seleccionar adecuadamente al paciente para que sea beneficiado.

Palabras clave: Rehabilitación robótica, enfermedad vascular cerebral, revisión, efectividad clínica.

ABSTRACT

*This is a review aimed at identifying stroke patients who are candidates for treatment with robotic rehabilitation and the benefits from it. A search was made for pilot studies, quasi-experimental, clinical guidelines and systematic reviews related to robotic rehabilitation for treatment of brain stroke disease in databases PubMed, Science Direct, Medigraphic and Google Scholar, where we could find a classification of treatments, patient selection and benefits. The patient must have a precise set of characteristics to carry out a safe treatment and get the best results. Treatment should include parameters, tasks, objectives and measurements of achievement through clinical and assessment scales, as well as a combination of techniques. **Conclusion:** The robotic treatment will never replace conventional physical therapy and the patient should be properly selected to be benefited.*

Key words: Robot-assisted therapy, brain stroke disease, review, clinical effectiveness.

INTRODUCCIÓN

En México, en el periodo hasta 2008 (última estadística oficial) la enfermedad vascular cerebral (EVC) fue la tercera causa de muerte, con más de 30,000 defunciones, con una tasa de hasta 30/100,000¹. En el análisis por género representó la tercera causa de mortalidad en mujeres, con un porcentaje entre 6.7 y 6.9%, mientras que para los hombres fue la cuarta

causa de mortalidad correspondiendo a 4.9% del total. En lo que se refiere a egresos hospitalarios por todas las causas en el mismo periodo, la enfermedad cerebrovascular ocupa el lugar 18, representando el 0.9% del total. En países en desarrollo, como el nuestro, se estima que los costos de atención por EVC son de 114,000 a 150,000 pesos; además de los costos sociales como los cuidados informales y alteraciones en la dinámica familiar en torno a los pacientes². Desafortunadamente no se cuenta con una estadística de prevalencia que distinga la forma aguda de la crónica¹. En estudios de población internacionales, la incidencia de EVC en personas mayores de 55 años se encuentra entre 4.2 y 11.7 por cada 1,000 personas/año. Aproximadamente 64% de los sobrevivientes de EVC tienen déficit sensoriomotor que generan discapacidad en miembros torácicos y pélvicos, con restricción de la autonomía en las actividades de la vida diaria³.

La EVC tipo isquémico se define como la presencia de síntomas neurológicos, como déficit motor o sensitivo, disartria, afasia, vértigo, alteraciones visuales como amaurosis, con más de 24 horas de duración, corroborado con estudio de imagen mediante tomografía computada de cráneo y/o

* Neurorehabilitación Biónica y Robótica – Clínica Cerebro. Medicina Física y Rehabilitación, Centro Médico Nacional «20 de Noviembre», ISSSTE.

Abreviaturas:

EVC = enfermedad vascular cerebral.

TF = terapia física.

Recibido para publicación: mayo, 2015.

Aceptado para publicación: octubre, 2015.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/medicinafisica>

resonancia magnética. La EVC de tipo hemorrágico se define como la presencia de síntomas neurológicos que se presentan de forma abrupta como cefalea, náusea, vómito, deterioro de la vigilia, afasia o hemiparesia, y que se corroboran con estudio de imagen⁴.

Este trabajo se trata de una revisión clásica cuyo objetivo es identificar al paciente con enfermedad vascular cerebral que sea candidato a tratamiento con rehabilitación robótica así como determinar las mejores condiciones para que el paciente obtenga beneficio de ella.

METODOLOGÍA

Se realizó búsqueda de artículos con las palabras clave (en español e inglés): rehabilitación robótica, enfermedad vascular cerebral, ictus, robot terapéutico, entrenamiento en banda sin fin en bases de datos PubMed, Science Direct, Medigraphic y Google Scholar; así como libros especializados en rehabilitación y entrenamiento y guías clínicas mexicanas (CENETEC). Se seleccionaron 52 artículos de los cuales 34 fueron elegidos por cumplir con los datos requeridos para el objetivo de la revisión, un libro y dos guías clínicas.

Valoración previa

Las principales secuelas motrices de la EVC independientemente de la causa, y que pueden ser tratadas con rehabilitación robótica, se pueden dividir en síndromes específicos: monoplejía, monoparesia, hemiplejía, hemiparesia, tetraplejía, tetraparesia; cualquiera en etapa flácida o espástica. La presentación y la severidad del mismo serán dependientes del territorio afectado así como del grado de afectación del mismo, pero el tratamiento de rehabilitación iniciado precozmente proporciona mejores resultados⁴. Los pacientes con trastornos de la función motora tienen que ser tratados por fisioterapeutas expertos, muchas veces certificados especialmente en el uso de tecnología robótica. El tratamiento tiene que ser individual y personalizado, de acuerdo con los diferentes elementos alterados⁵ y encaminados a tareas específicas.

Para la evaluación y diagnóstico de las complicaciones y secuelas de la EVC se deberá realizar una primera valoración al paciente, a la que deberá acudir preferentemente con biometría hemática, química sanguínea con perfil de lípidos y estudios de imagen (resonancia magnética, tomografía axial computarizada) previamente realizados así como último resumen clínico en caso de ser un paciente externo ambulatorio. En esta consulta se elaborará la historia clínica, dentro de la cual, además de los apartados clínicos propedéuticos ya conocidos, se pueden aplicar escalas de valoración internacionalmente validadas y aceptadas (recomendación B)^{5,6}: la escala del *Medical Research Council* (MRC) para la fuerza del lado conservado, índice de motricidad de Demeurisse para el

lado afectado; el tono se evaluará con la escala de Ashworth modificada o con la escala de Tardieu; el control del tronco con el *trunk control test*⁷; la independencia funcional y valoración de las actividades de la vida diaria pueden hacerse por medio de la medida de independencia funcional (FIM) con valor predictivo positivo de vuelta a la actividad independiente de 92% cuando la puntuación inicial es mayor de 20^{5,7,8} o en su defecto el índice de Barthel, o algunas específicas como son la escala de Fugl-Meyer⁶; además, podemos aplicar el cuestionario de percepción de la salud SF-36, reconocido internacionalmente⁸ en sus capítulos de función física y rol físico; finalmente, se puede estadificar al paciente en la etapa de Brünstrom correspondiente y su grado de discapacidad de acuerdo con la escala de Rankin modificada^{2,5,9}. Además, en casos específicos que así lo requieran, pueden ser aplicadas otras valoraciones como la escala de balance de Berg en pacientes con alteraciones del equilibrio, el test de caminata de seis minutos (calidad de la marcha y condición indirecta del *fitness*)¹⁰⁻¹², el *Up & Go test* (coordinación y equilibrio global), o el test de caminata de 10 metros (velocidad de la marcha y longitud del paso)¹⁰. En una revisión que valoró los resultados conforme a lo señalado en la Clasificación Internacional de la Funcionalidad, Discapacidad y la Salud (CIF), se encontró que múltiples escalas han sido utilizadas para evaluar los resultados: caminata de seis minutos, marcha de 10 metros, Ashworth, escala de balance de Berg, Fugl-Meyer subescala motora, *functional independence measure*, *motor assessment scale*, *Rankin scale*, entre otras; con diferentes fines cada una para la evaluación según la CIF³.

Rehabilitación robótica

La robótica ha sido definida como la aplicación de dispositivos con sistemas electrónicos o computarizados diseñados para realizar funciones humanas¹³. Un robot terapéutico es un sistema que detecta los movimientos del usuario, utiliza esta información para ajustar parámetros y provee retroalimentación visual y sensitiva al paciente¹². En sí, se ha referido que son dispositivos no invasivos, de fácil control, con poco riesgo para el paciente, y con buena efectividad para el tratamiento¹³. Las investigaciones respecto al uso y beneficio de este tipo de terapia han aumentado con el paso de los años y según el desarrollo de dispositivos. En los 80, había sólo 16 escritos sobre prótesis de brazo, en los 90, 76 estudios; recientemente han incrementado de manera exponencial¹⁴.

Existen múltiples equipos robóticos de diferentes marcas para el tratamiento rehabilitatorio, pero en global podemos mencionar los siguientes tipos: brazos, manos, piernas, robots de marcha, plataformas vibratorias, plataformas de equilibrio, ergómetros y cicloergómetros modificados, isocinéticos, bipedestadores, sillas de ruedas, exoesqueletos¹², los cuales tienen características comunes y específicas entre sí, pero

que entre los diferentes estudios no determinan diferencias en resultados.

Se han descrito diferentes órtesis robóticas para la marcha en pacientes después de un EVC (Honda, Tibion...), algunas mecánicas, otras que responden a señales electromiográficas o a través de sensores de fuerzas. Existen órtesis cortas y unilaterales (Tibion), cortas bilaterales, largas y para tronco (HAL, Ekso, ReWalk), netamente mecánicas o con control a base de estimulación eléctrica funcional (FES)¹¹⁻¹⁶. Hay disponibles otras órtesis para marcha de tipo Lokomat o G-eo¹⁴. Rodríguez et al¹⁵ clasificaron a los robots para miembros torácicos en tres niveles: prototipos, exoesqueletos y por abordaje proximal o distal, mientras que Díaz et al¹⁶ clasifican los robots para marcha en entrenadores en banda, entrenadores basados en plataformas para los pies, entrenadores en superficie, estacionarios para marcha y tobillo, y órtesis activas tobillo-pie.

Efectividad de la terapia robótica

Hyuk-Chang et al¹⁷ mencionan que la base de la rehabilitación robótica es la estimulación de la neuroplasticidad, a través de establecimiento de metas, prácticas de alta intensidad, cuidados multidisciplinarios y programas de tareas específicas funcionales.

La aceptación que tiene este tipo de tratamiento por parte de los paciente fue analizada por Mazzoleni et al¹⁸. Dichos autores estudiaron un grupo de 34 pacientes a través de un cuestionario tipo Likert para determinar la aceptabilidad de la rehabilitación robótica, basados en que las personas mayores son renuentes a la tecnología. Las preguntas fueron encaminadas a la comodidad, presencia de dolor, fatiga, si disfrutó la terapia, si cree que le benefició, deseos de continuar y si recomendaría la terapia robótica. Sugieren al final que al paciente se le debe explicar detalladamente los procedimientos, los beneficios y la información que requiera.

Aunque la rehabilitación robótica tiene el potencial de incrementar la cantidad de terapia individual, el mayor gusto por la terapia, y la calidad de la asistencia durante la terapia¹², además ofrecen retos pero también asistencia, así como simulación de actividades específicas¹⁹. Sin embargo, no se puede decir aún que la terapia robótica sea superior a la terapia física (TF) convencional. La meta no es reemplazar al terapeuta físico u ocupacional, sino facilitar el trabajo de ellos, y lograr una rehabilitación óptima. Aunque aún no hay evidencia fuerte acerca de ser superior a terapia convencional, sí disminuyen el esfuerzo, la necesidad de recurso humano, y optimizan el tiempo¹⁶. Para ello, la rehabilitación robótica ofrece ciertas ventajas, a destacar: reproducibilidad^{20,21}, programas orientados a tareas específicas, progresión cuantificada, actividades lúdicas¹². Se han observado diferentes beneficios relacionados con estos dispositivos, entre ellos reeducación motriz, incremento en la fuerza, mejoría de la coordinación, modificaciones

al tono muscular, disminución del costo energético, mayor independencia funcional, entre otras^{4,9-12,20,22-29}, aunque en estudios hay resultados aún controvertidos. Un metaanálisis demostró sustanciales cambios en la marcha a favor de Lokomat y Gait trainer I, pero no cuando el paciente es totalmente pasivo, donde no hubo ninguna utilidad¹⁴. En otro estudio comparando distintos trabajos de entrenamiento robótico de marcha en estado subagudo y crónico se encontró variabilidad entre la eficacia, siendo algunos igual de efectivo, más efectivo cuando se combina con TF y menos efectivo cuando se realiza sin terapia en algunos estudios¹⁷.

Misma situación cuando se revisan publicaciones con rehabilitación robótica para brazo: cuando se realiza combinado con TF hay mayor efectividad en la función del miembro torácico y en las actividades de la vida diaria¹⁷. En otra revisión sistemática con metaanálisis se encontró que cuando se compara un programa de terapia convencional con alta intensidad y larga duración contra un programa de rehabilitación robótica, no existieron diferencias en cuanto a recuperación motora, actividades de la vida diaria, fuerza y control motor. Sin embargo, y dependiendo de la etapa de recuperación, sesiones extras de robótica combinada con terapia regular fueron más beneficiosas para la recuperación del hombro y el codo parético en pacientes con EVC, aunque con una ganancia similar a aquellos pacientes que realizan un programa de terapia intensiva³⁰. En otro estudio en EVC agudo (2-4 semanas) de evolución con 96 pacientes, con un programa de 25 sesiones de una hora cinco veces por semana, con orientación a tareas específicas (OTE) realizado con el MIT manus, modo activo asistido obtuvo mejoría significativa comparada con TF (TF) convencional; mientras que en pacientes de evolución crónica fue superior a terapia usual, similar a TF intensiva, pero de mayor duración en los efectos³¹. Otro estudio en rehabilitación para brazo (MIT manus, BiManuTrack, Amadeo, Armeo) se observó leve mejoría para miembro superior comparado con convencional³². La terapia de alta intensidad con OTE consiste en movimientos activos, repetitivos³³. En la revisión de Rodríguez et al¹⁵ se encontró igual efectividad que la terapia convencional bajo los mismos parámetros de intensidad y tiempo de tratamiento, pero con estudios poco concluyentes, aun cuando algunos parecen reflejar mejoras significativas en la función motora y en la fuerza comparado con el tratamiento convencional, principalmente si su aplicación es sumada a la convencional. Refieren que el aprendizaje orientado a tareas y la intensidad del tratamiento determinan la eficacia en el reentrenamiento de habilidades funcionales: Esta intensidad y la capacidad de repetición de las tareas pueden relacionarse con el beneficio que se obtiene¹⁵. Otros autores concluyen que la terapia robótica para miembros torácicos en regiones proximales mejora a corto y largo plazo la función motora para hombro y codo comparada con terapia convencional³³. En una revisión sistemática analizando efectividad de intervenciones para rehabilitación de miembros

superiores se encontró que la intervención robótica mejoró la calidad de vida, fuerza, memoria, actividades de la vida diaria simples e instrumentadas, movilidad, función de la mano, aunque fue mayor la recuperación cuando se combinó con terapia convencional³⁴. Incluso en 2010, la *American Heart Association* (AHA) sugirió nivel de evidencia A clase IIa para la rehabilitación robótica de brazo en pacientes con EVC¹⁴. Marchal et al¹⁹ sugieren primeramente ensayos clínicos rigurosos comparando robótica contra no robótica; segundo lograr definir pacientes idóneos y la etapa de recuperación, y tercero el desarrollo de software más adecuado.

Con todo esto, la rehabilitación robótica no está exenta de desventajas: es altamente especializado, requieren espacio físico propio, el operador es dependiente de capacitación, el producto es dependiente de software y de energía eléctrica¹². Además se debe seleccionar adecuadamente a los pacientes, y además éstos siempre necesitarán terapia complementaria, y no se debe olvidar para la programación, los principios generales de cualquier tipo de entrenamiento para que éste sea eficaz³⁵. Por otro lado, se ha señalado que existe el riesgo de la pasividad por parte del paciente, por lo que se debe estimular a la participación activa por parte del paciente¹⁵. Finalmente, la decisión debe quedar dirigida a la tarea específica que se busca lograr, así como el análisis costo-beneficio que esta rehabilitación puede ofrecer.

Selección del paciente

Para que el paciente pueda ser tratado en los equipos robóticos se ha recomendado que cumpla con los siguientes requisitos^{11,36,37}:

1. Plan de evaluación y tratamiento establecido por el médico rehabilitador según los objetivos marcados.
2. Signos vitales estables dentro de las últimas 24 horas y sin condiciones médicas severas.
3. Ausencia de dolor torácico en las 24 horas previas, con excepción de pacientes con angina estable o una condición no cardíaca documentada.
4. No cursar con fracturas inestables.
5. No cursar con arritmias cardíacas.
6. Sin evidencia de trombosis venosa profunda.
7. Sin infecciones, cuadros inflamatorios agudos o convulsiones no controladas.
8. Ausencia de epilepsia o más de seis meses sin crisis convulsivas secundarias.
9. Capacidad cognitiva adecuada para participar en su rehabilitación.
10. Capacidad de recuperación.
11. Sin antecedente de osteoporosis severa.
12. Sin problemas de la piel.
13. Sin limitaciones articulares fuera de rangos funcionales.

14. En algunos dispositivos exoesqueléticos, sin diferencias mayores de longitud.
15. Sin padecer problemas circulatorios ortostáticos.

Una vez prescrito el tratamiento, el paciente deberá cumplir con él, y al término, deberá ser revalorado para decidir la conducta terapéutica a seguir⁴.

Además del incumplimiento de estos criterios, se pueden considerar contraindicaciones absolutas^{36,37}:

1. Falta de cooperación del paciente o rechazo al tratamiento.
2. Imposibilidad para ajustar las sujeciones.
3. Espasticidad severa (Ashworth 3-4).
4. Apraxia.
5. Dolor severo.
6. En algunos dispositivos el tener venoclisis, catéteres o infusiones.
7. Ventilación mecánica.

CONCLUSIÓN

La rehabilitación robótica se basa en equipos y técnicas de alta tecnología que pueden beneficiar al paciente, sin embargo, tiene condiciones clínicas precisas para su uso así como contraindicaciones. El tratamiento robótico nunca sustituirá a la TF convencional aunque ofrece algunas ventajas, sin embargo, el equipo robótico será tan bueno como el ingenio e iniciativa del terapeuta, y hay que seleccionar adecuadamente al paciente para que sea beneficiado, siempre bajo prescripción médica y seguimiento con valoraciones y escalas para determinar la ganancia del paciente y modificaciones necesarias en el tratamiento. Es importante señalar que aunque se han establecido sugerencias de las condiciones del paciente, aún no se han establecido indicaciones absolutas para el mismo, por lo que el criterio clínico debe ser crítico.

REFERENCIAS

1. Chiquete E, Ruiz-Sandoval J, Murillo-Bonilla L, Arauz A, Villareal-Careaga J, Barinagarrementeria F et al. Mortalidad por enfermedad vascular cerebral en México, 2000-2008: una exhortación a la acción. *Rev Mex Neuroci*. 2011; 12 (5): 235-241.
2. CENETEC. *Prevención secundaria, diagnóstico, tratamiento y vigilancia de la enfermedad vascular cerebral isquémica*. México: Secretaría de Salud; 2008. Disponible en: www.cenetec.salud.gob.mx
3. Geroín C, Mazzoleni S, Smania N, Gandolfi M, Bonaiuti D, Gasperini G et al. Systematic review of outcome measures of walking training using electromechanical and robotic devices in patients with stroke. *J Rehabil Med*. 2013; 45: 987-996.
4. Duncan PW, Zorowitz R, Bates B, Choi JY, Glasberg JJ, Graham GD et al. Management of adult stroke rehabilitation care: a clinical practice guideline. *Stroke*. 2005; 36: e100-e143.
5. CENETEC. Guía de referencia rápida: rehabilitación de adultos con enfermedad vascular cerebral. Catálogo Maestro de Guías Clínicas. México: DIF-331-09.

6. Daviet JC, Dudognon PJ, Salle JY, Munoz M, Lissandre JP, Rebeyrotte I et al. Rééducation des accidents vasculaires cérébraux. Bilan et prise en charge. *Encycl Méd Chir, Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*. 2002; 26-455-A-10,24 p.
7. Daviet JC, Dudognon PJ, Salle JY, Munoz M, Lissandre JP, Rebeyrotte I et al. Technique de rééducation neuromusculaire appliquée à l'accidenté vasculaire cérébral adulte. *Encycl Méd Chir, Kinésithérapie - Médecine physique-Réadaptation*. 2002;26-455-B-10,8 p.
8. Zúñiga M, Carrillo-Jiménez G, Fos P, Gandek B, Medina-Moreno M. Evaluación del estado de salud con la Encuesta SF-36: resultados preliminares en México. *Salud Pública Mex*. 1999; 41 (2): 110-118.
9. Gebruers N, Vanroy C, Truijen S, Engelborghs S, De Deyn PP. Monitoring of physical activity after stroke: a systematic review of accelerometer-based measures. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010; 91: 288-297.
10. Ng SS, Tsang WW, Cheung TH, Chung JS, To FP, Yu PC. Walkway length, but not turning direction, determines the six-minute walk test distance in individuals with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011; 92: 806-811.
11. Krewer C, Müller F, Husemann B, Heller S, Quintern J, Koenig E. The influence of different Lokomat walking conditions on the energy expenditure of hemiparetic patients and healthy subjects. *Gait & Posture*. 2007; 26: 372-377. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.10.003.
12. Cooper RA, Dicianno BE, Brewer B, LoPresti E, Ding D, Simpson R et al. A perspective on intelligent devices and environments in medical rehabilitation. *Med Eng Physics*. 2008; 30: 1387-1398.
13. Zhang M, Davies TC, Xie S. Effectiveness of robot-assisted therapy on ankle rehabilitation-a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2013; 10: 30.
14. Krebs HI, Volpe BT. Rehabilitation robotics. *Handbook of Clinical Neurology, Neurological Rehabilitation*. 2013. Vol. 110 (3rd series). Barnes MP, Good DC, editors. Available in: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044452901500023X>
15. Rodríguez-Prunotto L, Cano-de la Cuerda R, Cuesta-Gómez A, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F. Terapia robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica. *Rehabilitación (Madr)*. 2014; 48 (2): 104-128.
16. Díaz I, Gil JJ, Sánchez E. Lower-limb robotic rehabilitation: literature review and challenges. *J Robot*. 2011. Article ID 759764, 11 pages. doi: 10.1155/2011/759764.
17. Chang WH, Kim YH. Robot-assisted therapy in stroke rehabilitation. *J Stroke*. 2013; 15 (3): 174-181. Available in: <http://dx.doi.org/10.5853/jos.2013.15.3.174>
18. Mazzoleni S, Turchetti G, Palla I, Posteraro F, Dario P. Acceptability of robotic technology in neuro-rehabilitation: preliminary results on chronic stroke patients. *Comput Methods Programs Biomed*. 2014; 116 (2): 116-122. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.12.017>.
19. Marchal-Crespo L, Reinkensmeyer DJ. Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury. *J Neuroeng Rehabil*. 2009; 6: 20. doi: 10.1186/1743-0003-6-20.
20. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Fröhlich K, Saltuari L. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007; 21: 307-314.
21. Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004; 85: 113-118.
22. Kluding P, Gajewski B. Lower-extremity strength differences predict activity limitations in people with chronic stroke. *PhysTher*. 2009; 89: 73-81.
23. Niessen MH, Veeger DH, Meskers CG, Koppe PA, Konijnenbelt MH, Janssen TW. Relationship among shoulder proprioception, kinematics, and pain after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009; 90: 1557-1564.
24. Teasell RW, Foley NC, Bhogal SK, Speechley MR. An evidence-based review of stroke rehabilitation. *Top Stroke Rehabil*. 2003; 10 (1): 29-58.
25. Masiero S, Celia A, Rosati G, Armani M. Robotic-assisted rehabilitation of the upper limb after acute stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007; 88: 142-149.
26. Duncan P, Studenski S, Richards L, Gollub S, Lai SM, Reker D et al. Randomized clinical trial of therapeutic exercise in subacute stroke. *Stroke*. 2003; 34: 2173-2180.
27. Dickstein R. Rehabilitation of gait speed after stroke: a critical review of intervention approaches. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008; 22: 649.
28. Hill DC, Ethans KD, MacLeod DA, Harrison ER, Matheson JE. Exercise stress testing in subacute stroke patients using a combined upper- and lower-limb ergometer. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005; 86: 1860-1866.
29. Ivey FM, Hafer-Macko CE, Macko RF. Exercise training for cardio-metabolic adaptation after stroke. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2008; 28: 2-11.
30. Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: systematic review and meta-analysis of the literature. *J Rehabil Res Dev*. 2012; 49 (4): 479-496.
31. Volpe B, Krebs H, Hogan N. Is robot-aided sensorimotor training in stroke rehabilitation a realistic option? *Current Opinion in Neurology*. 2001; 14: 745-752.
32. Kwakkel G, Kollen BJ, Krebs HI. Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008; 22: 111-121. doi: 10.1177/1545968307305457.
33. Prange GB, Jannink MJ, Groothuis-Oudshoorn CG, Hermens HJ, IJzerman MJ. Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *J Rehabil Res Dev*. 2006; 43 (2): 171-184. doi: 10.1682/JRRD.2005.04.0076.
34. Pulman J, Buckley E. Assessing the efficacy of different upper limb hemiparesis interventions on improving health-related quality of life in stroke patients: a systematic review. *Top Stroke Rehabil*. 2013; 20 (2): 171-188.
35. Weineck J. *Entrenamiento total*. Barcelona: Ed. Paidotribo; 2005.
36. Gonzalo-Domínguez M. Evaluabilidad de los programas del robot Amadeo en la rehabilitación de la mano del hemipléjico. *TOG (A Coruña)* [revista en Internet]. 2014; 11 (20): 20. Disponible en: <http://www.revistatog.com/num20/pdfs/original9.pdf>
37. Rodríguez-Claudio I. Entrenamiento robótico como medio de rehabilitación para la marcha. *Evid Med Invest Salud*. 2012; 5 (2): 46-54.

Dirección para correspondencia:
 Dr. Pavel Loeza Magaña
 California Núm. 211,
 Col. Del Valle, 03020,
 Del. Benito Juárez, México, D.F.
 Tel: 55591516
 E-mail: doctor.pavel@hotmail.com