

Seguimiento de Pacientes en Rehabilitación Robótica

ACOSTA, Nelson (FCs Exactas – UNICEN) Email: el.nelson.acosta@gmail.com
CHIODI, Andrea (CIANE) Email: andrebchiodi@gmail.com
DÍAZ, Alejandro (FCs Salud – UNICEN/CONICET) Email: alejandrounicen@gmail.com
CRUZ Alejandro (Dto Informática – UN Chilecito) Email: alejandrocruz1987@gmail.com

Resumen

El entrenamiento en cinta con apoyo de peso corporal asistido manualmente es un enfoque contemporáneo de rehabilitación de la marcha, donde un individuo camina en una cinta con peso corporal parcialmente soportado por un arnés superior, mientras uno a tres terapeutas facilitan el control de las extremidades. La robótica aplicada al entrenamiento intensivo o recuperación del movimiento permite que el patrón de pasos rítmicos y repetitivos proporcionado, combinado con la carga activa de las extremidades, promueve la plasticidad neuronal cerebral y de la médula espinal. Con esta tecnología podemos aumentar el número de repeticiones, cambiar la velocidad, o variar el soporte del peso corporal para contribuir al aprendizaje motor estableciendo nuevas conexiones con el cerebro. Este desarrollo impone una cuidadosa interfaz entre el usuario, quién maneja el equipo, y el personal médico que dirige y controla los ejercicios. Se generan todos los informes necesarios para que personal médico pueda saber y evaluar exactamente lo que sucede con su paciente a la distancia. El objetivo del proyecto es evaluar los parámetros directos e indirectos que puede aportar información completa al equipo médico, que permita un seguimiento cercano de los pacientes a distancia.

Contexto

La terapia convencional está limitada por el tiempo, el número de repeticiones, la falta de

calidad de movimiento reproducible y que es agotadora tanto para los terapeutas como para los pacientes. Existe un desequilibrio entre la terapia que se debe ofrecer según los principios del aprendizaje motor, y todos los factores que impiden alcanzar ese objetivo. Estudios demuestran que el ejercicio intenso es la clave para mejorar la función motora y produce resultados sostenibles [1].

Según la *Organización Mundial de la Salud* el 7% de la población mundial tiene discapacidad en miembros inferiores [2]. De 15 millones de personas por año que sufren un ACV, 30% quedarán con una discapacidad permanente [3], y 25% de los supervivientes acaba siendo dependiente por su movilidad [4].

El entrenamiento en cinta con apoyo de peso corporal asistido manualmente es un enfoque actual de rehabilitación de la marcha [5], donde un individuo camina con peso corporal parcialmente soportado por un arnés, mientras 1-3 personas facilitan el control de las extremidades [6, 7]; hecho muy difícil y que presenta riesgo de lesión para el personal, o en el mejor de los casos agotamiento y frustración por lo lento del avance de los pacientes.

Por esto se desarrolla la robótica aplicada al entrenamiento intensivo o recuperación del movimiento. El patrón de pasos rítmicos y repetitivos proporcionado por la asistencia robótica, combinado con la carga activa de las extremidades, promueve la plasticidad neuronal cerebral y de la médula espinal. Con esta tecnología podemos aumentar el número

de repeticiones, cambiar la velocidad, o variar el soporte del peso corporal para contribuir al aprendizaje motor estableciendo nuevas conexiones con el cerebro [8]. Dispositivos usados para: ACV, parálisis cerebral, lesiones medulares, Parkinson, distrofia muscular, varios tipo de parálisis, y toda condición que mantenga en silla de rueda o cama al paciente.

1.-Introducción

En este proyecto usamos *Realwalker* (www.realwalker.com.ar), diseño disruptivo por la tecnología patentada que baja su precio permitiendo que el paciente entrene intensivamente, agilizando la recuperación y bajando los costos, siempre bajo coordinación de personal médico que debe saber y evaluar exactamente lo que sucede con su paciente a la distancia [9, 10].

Está demostrado que los dispositivos robóticos como medio para automatizar e intensificar el entrenamiento locomotor en neurorehabilitación mejora la recuperación del movimiento y acorta el tiempo de los tratamientos [11].

Hay tres motivaciones principales para desarrollar nuevas tecnologías para asistir en rehabilitación [12]. Primero, la tecnología tiene el potencial de permitir más terapia con menos supervisión, mejorando los perfiles de costo-beneficio de la rehabilitación. Este objetivo puede expresarse como el desarrollo de una tecnología que promueva de forma óptima la plasticidad dependiente del uso, a la vez que reduce el coste de la terapia [7].

Segundo, la tecnología tiene el potencial de cuantificar la terapia con mayor precisión, incluyendo las características del paciente que predicen el éxito de la terapia, la dosis y el contenido de la terapia y los resultados clínicos [13, 14]. Esta propiedad de cuantificación de la tecnología es importante

para mejorar la comprensión mecanicista de la ciencia de la rehabilitación, la toma de decisiones clínicas y la retroalimentación y motivación del paciente [15, 16].

Tercero, la tecnología tiene el potencial de permitir tipos de terapia completamente nuevos. Un ejemplo es el concepto de proporcionar terapia continua con dispositivos robóticos o que se pueden llevar puestos [17].

Los terapeutas de rehabilitación no pueden ser omnipresentes, pero la tecnología robótica e inteligente si puede, proporcionando terapia durante mayor cantidad de veces, con mayores repeticiones, con mayor posibilidad de repetibilidad, y con mayor cantidad de variaciones. Y todo esto en un ambiente donde el personal médico conoce exactamente lo que entrena cada paciente [10, 18, 19].

Estas tres motivaciones son los grandes motores de este proyecto, y generan estos grandes interrogantes que pretendemos resolver con este proyecto son:

1. ¿Es posible detectar antes que suceda alguna complicación derivada del ejercicio?
2. ¿Es posible (1) sin necesidad de cargar gran cantidad de planillas?
3. ¿Cuáles parámetros es posible inferir con los que genera el equipo?

2.-Líneas de Investigación y Desarrollo

Actualmente se está trabajando en 4 líneas de investigación y desarrollo:

- a) Selección de parámetros (Proyecto de incentivos de la UNICEN). Este proyecto se comenta en los resultados obtenidos y esperados.
- b) Medición física de efectos del entrenamiento robótico pasivo en pacientes con discapacidad motor

(Proyecto de investigación CIANE - UNICEN). Se realizan mediciones: de flujo y caudal sanguíneo, fuerza y movilidad (escala de Daniels), tono muscular (escala de Ashworth, y escala de Tardieu), calidad de materia fecal (escala de Bristol), parámetros en metabolismo fosfocalcico (escala FIM), independencia funcional (escala de Barthel). Todas estas mediciones se realizan antes y al finalizar el periodo de entrenamiento planificado con el sistema robótico pasivo, de esa forma se puede analizar el efecto del entrenamiento intensivo en el paciente.

- c) Actualización de sistema de generación de movimiento (Patente en trámite).
- d) Ortesis dinámica de rodilla (Proyecto de investigación en conjunto con UN San Martín, evaluado y financiado por Procodas). Desarrollo de exoesqueleto de rodilla que soporta el peso del paciente permitiendo un desplazamiento en caminata.

3.-Resultados Obtenidos y Esperados

Este artículo plantea la situación actual, a 3 años de comenzar a trabajar en conjunto. Donde se ha realizado el análisis de los parámetros del sistema robótico (Línea 2.a), y los resultados han sido: se ha definido un conjunto de parámetros a tener en cuenta, y como respuesta ya está planteándose un plan para su adopción escalonada en los dispositivos. Se espera obtener una evolución de los dispositivos que permita evaluar varios parámetros adicionales a los planteados originalmente.

En el caso de la medición física de efectos del entrenamiento robótico pasivo en pacientes con discapacidad motor (Línea 2.b), se ha comenzado a trabajar en enero de 2021. Hasta

el momento hemos realizado algunas tareas: 1) Analizar los grupos de pacientes, 2) Seleccionar quienes pueden participar del proyecto, y 3) Avanzar con el documento de consentimiento informado para la práctica de los entrenamientos en el marco del proyecto de investigación. Este proyecto se espera sea completado en el transcurso de 2021.

Por otra parte, los otros proyectos (las Líneas 2.c y 2.d) avanzan por carriles diferentes con gran independencia y con una problemática totalmente diferente. Una basada en trámites de patentes, mientras que el otro estamos buscando financiar motores que permitan un movimiento más suave y preciso.

En este proyecto se desarrolló un conjunto de parámetros que permitan a personal médico analizar y evaluar de forma certera la evolución (o involución) de un paciente entrenando caminata en un equipo robótico. Un conjunto de parámetros son generados, de forma automática (*paciente, diagnóstico, personal médico, velocidad, aceleración, tiempo, fecha y hora, entre otros*) o manual (*peso descargado*), por el equipo; mientras que el resto de los parámetros son calculados en base a las evaluaciones médicas, la búsqueda de información y el análisis de tendencias en los datos generados.

Estas tecnologías permitirán asistir en rehabilitación logrando más terapia con menos supervisión, cuantificando la terapia con mayor precisión, incluyendo las características del paciente que predicen el éxito de la terapia (la dosis, el contenido de los ejercicios, y los resultados clínicos). Todas estas características tienen dos efectos principales; para las clínicas y obras sociales mejora la relación costo-beneficio de la rehabilitación, mientras que, para el paciente reduce los tiempos de recuperación del movimiento. Los terapeutas no pueden ser omnipresentes, pero con esta tecnología se

permite que sin su presencia física permanente conozca todos los datos del entrenamiento de cada paciente.

La universidad por parte de la Facultad de Ciencias Exactas tanto como la Facultad de Ciencias de la Salud tiene un equipo multidisciplinario que trabaja en dispositivos médicos basados en tecnología informática. El impacto en nuestras cátedras es directo, ya que el proyecto tiene directa relación con las materias de todos los involucrados en el proyecto, provocando un enriquecimiento y su directo impacto a los alumnos de grado y postgrado. También los integrantes del proyecto por parte de las instituciones contarán con el uso del equipo para sus pacientes, y desarrollarán sus propias técnicas de tratamiento o evaluarán las publicadas por otros colegas.

Se espera tener capacidad de atención de al menos 20 personas diarias, que se beneficiarán tanto del entrenamiento como de toda la información y estudios realizados (donde la principal limitación está dada por las horas del personal médico y de asistencia en la institución). La vinculación del CIANE tiene un impacto directo, ya que el proyecto nace vinculando a dicha institución, y dentro de los objetivos está el poder disponer del uso del dispositivo por parte de sus pacientes.

4.-Formación de Recursos

Humanos

El equipo formato tiene 4 partícipes muy comprometidos: la Facultad de Ciencias Exactas-UNICEN con su núcleo NICE, la Facultad de Ciencias de la Salud-UNICEN, el centro de atención a niños CIANE, y la empresa Tecnología LINDA SRL que fabrica los entrenadores.

El equipo del NICE tiene experiencia en desarrollo de sistemas, tanto el software como el hardware, elementos básicos de los

sistemas robóticos. La patente del desarrollo del sistema robótico de entrenamiento pertenece a un miembro activo del núcleo.

El personal involucrado de la Facultad de Ciencias de la Salud, tiene amplia experiencia profesional y científica en salud humana. El equipo cuenta con las especialidades vinculadas a la rehabilitación humana, médico fisiatra, neurólogo, y se destacan las contribuciones del Dr. Alejandro Díaz en cardiología, quien ha sido promovido a la categoría de Investigador Independiente de CONICET luego de obtener importante premio otorgado por la Sociedad Argentina de Hipertensión Arterial.

El CIANE es una asociación civil sin fines de lucro creada en el año 2006 por un grupo de padres de niños con discapacidad para la creación de un Centro Integral de Atención a Niños Excepcionales. Este 2021 inaugura su nueva sede.

Hace ya 2 años que estamos trabajando juntos (gran parte del equipo). Hoy en día casi todos los equipos de salud tienen en su interior hardware y software, y en conjunto somos un equipo humano, científico y técnico, con la capacidad de realizar especificaciones y diseño de equipos de alto desempeño aplicables a la salud humana.

Se esperan avances en cuanto al doctorado de:

- Ing. Cruz quien está haciendo el Doctorado en Matemática Computacional e Industrial de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN dirigido por Acosta.
- Med. Chiodi se inscribirá próximamente al doctorado en Ciencias Aplicadas, mención Ambiente y Salud, de la UNICEN dirigido por Acosta.

La médica Andrea Chiodi ha terminado como postgrado la especialidad de Medicina Física y Rehabilitación otorgada por el Colegio de Médicos Distrito I (La Plata). También se

cuenta con la participación de alumnos de grado en el proyecto.

5.-Bibliografía

- [1] Andrews AW, Li D, & Freiberger JK, **Association of Rehabilitation Intensity for Stroke and Risk of Hospital Readmission**. Phys Ther 2015 [4].
- [2] World Health Organization (WHO). **Neurological Disorders: public health challenges**. ISBN 92 4 156336 2. ISBN 978 92 4 156336 9. Switzerland (2006) [99].
- [3] World Health Organization. **Neurological Disorders: Public Health Challenges**. 2006, Geneva, Switzerland: World Health Organization [2].
- [4] Hendricks, H. T., J. van Limbeek, A. C. Geurts and M. J. Zwarts (2002). **Motor recovery after stroke: a systematic review of the literature**. Arch Phys Med Rehabil 83(11):1629-1637 [3].
- [5] Kelly P Westlake1 and Carolyn Patten. **Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke**. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation Research, (2009) 6:18 [98].
- [6] R Salvatore, A Naro, M Russo, P Bramanti, L Carioti, T Balletta, A Buda, A Manuli, S Filoni & A Bramanti. **Shaping neuroplasticity by using powered exoskeletons in patients with stroke: a randomized clinical trial**. Journal of NeuroEngineering & Rehabil. (2018) 15:35 [70].
- [7] H van Hedel, G Severini, A Scarton, A O'Brien, T Reed, D Gaebler-Spira, T Egan, A Meyer-Heim, J Graser, K Chua, D Zutter, R Schweinfurter, JC Möller, L Paredes, A Esquenazi, S Berweck, S Schroeder, B Warken, A Chan, A Devers, J Petioky, NJ Paik, WS Kim, & P Bonato. **Advanced Robotic Therapy Integrated Centers (ARTIC): an international collaboration facilitating the application of rehabilitation technologies**. J. NeuroEngineering & Rehabil. (2018) 15:30 [80].
- [8] JC Moreno, F Barroso, D Farina, L Gizzi, C Santos, M Molinari & JL Pons. **Effects of robotic guidance on the coordination of locomotion**. J. NeuroEngineering & Rehabil. (2013), 10:79 [83].
- [9] KY Nam, HJ Kim, BS Kwon, JW Park, HJ Lee & A Yoo. **Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review**. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017) 14:24 [96].
- [10] K Kammen, AM Boonstra, L van der Woude, H Reinders & R Otter. **Differences in muscle activity and temporal step parameters between Lokomat guided walking and treadmill walking in post-stroke hemiparetic patients and healthy walkers**. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017) 14:32 [97].
- [11] K Bustamante Valles, S Montes, M Madrigal, A Burciaga, ME Martínez & MJ Johnson. **Technology-assisted stroke rehabilitation in Mexico: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a Robot/technology-assisted therapy gym**. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2016) 13:83 [69].
- [12] DJ Reinkensmeyer & ML Boninger. **Technologies and combination therapies for enhancing movement training for people with a disability**. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2012), 9:17 [78].
- [13] Elena Kokkoni, E Mavroudi, A Zehfroosh, JC Galloway, R Vidal, J Heinz & HG. Tanner. **GEARING smart environments for pediatric motor rehabilitation**. Jour. NeuroEngineering & Rehabilitation (2020) [105].
- [14] S. Fricke, C Bayón, H van der Kooij & E. van Asseldonk. **Automatic versus manual tuning of robot-assisted gait training in people with neurological disorders**. J. NeuroEngineering and Rehabilitation (2020) 17:9 [100].
- [15] N Fitter, M Mohan, KJ. Kuchenbecker & MJ. Johnson. **Exercising with Baxter: preliminary support for assistive social-physical human-robot interaction**. J NeuroEngineering and Rehabilitation (2020) 17:19. [103].
- [16] S Guillén-Climent, A Garzo, MN Muñoz-Alcaraz, P Casado, J Arcas, M Mejías & F Mayordomo-Riera. **A usability study in patients with stroke using MERLIN, a robotic system based on serious games for upper limb rehabilitation in the home setting**. J NeuroEngineering Rehabil (2021). [113].
- [17] Rachel L. Hawe, Andrea M. Kuczynski, Adam Kirton & Sean P. Dukelow. **Robotic assessment of rapid motor decision making in children with perinatal stroke**. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2020). [108]
- [18] I Bortone, M Barsotti, D Leonardis, A Crecchi, A Tozzini, L Bonfiglio & A Frisoli. **Immersive Virtual Environments and Wearable Haptic Devices in rehabilitation of children with neuromotor impairments: a single-blind randomized controlled crossover pilot study**. J NeuroEngineering Rehabil (2020). [111].
- [19] R. Rodríguez, M. Torres, M. Zayas, A. Montoya, D. Milánés & R. Zamora. **Robotic therapy for the hemiplegic shoulder pain: a pilot study**. J NeuroEngineering & Rehabilitation (2020) [106]