

Rehabilitación robótica en espasticidad de mano y muñeca

Robotic rehabilitation in hand and wrist spasticity

✉ José Fernando Gómez-Rendón¹, ✉ Juan David Moreno-Arango²,
✉ Javier Mauricio Medina-Salcedo³, ✉ Jimena Becerra-Velásquez⁴,
✉ Gilberto Andrés Gil-Henao⁵, ✉ María Alejandra Gil-Guerrero⁶

RESUMEN

Introducción. El presente estudio es una serie de casos clínicos que describe los resultados en el tratamiento de la espasticidad de mano y muñeca mediante órtesis robóticas realizado por el grupo de investigación F-Ciber-Rehabilitación en Manizales (Colombia).

Materiales y métodos. Se seleccionaron cinco (5) pacientes con espasticidad de mano y muñeca secundaria a lesión de neurona motora superior de diferente etiología, a quienes se les practicó terapia física y movilización pasiva con la órtesis robótica PRO-DWix®.

Resultados. Los pacientes presentaron mejoría de la espasticidad según la escala Ashworth Modificada, disminución de la intensidad del dolor según la escala EVA y recuperación gradual del arco de movilidad articular según goniometría; además, luego de tres meses de rehabilitación robótica presentaron beneficios en su calidad de vida.

Discusión. Se requieren ensayos clínicos aleatorizados para determinar las ventajas de la terapia física convencional complementada con terapia robótica, frente a la sola terapia convencional.

Conclusiones. La movilización pasiva con órtesis robóticas en pacientes con espasticidad de mano y muñeca por lesiones de neurona motora superior, favorece la modulación de la espasticidad, la disminución del dolor, la recuperación del arco de movilidad articular y la calidad de vida.

Nivel de evidencia. El propósito del estudio es generar evidencia clínica de nivel III respecto de las ventajas de la movilización pasiva con órtesis robóticas en la rehabilitación de pacientes con espasticidad de mano y muñeca.

Palabras clave. Espasticidad, neurona motora, robótica, rehabilitación, dispositivo ortopédico.

<https://doi.org/10.28957/rcmfr.v30n2>

ABSTRACT

Introduction. The present case series study describes the results in the treatment of hand and wrist spasticity, carried out by the F-Ciber-Rehabilitación research group in Manizales (Colombia).

Materials and methods. Five (5) patients with chronic hand and wrist spasticity secondary to upper motor neuronal syndrome of different etiology were selected, to whom underwent physical therapy and passive mobilization with the PRO-DWix™ robotic orthosis.

Results. All patients presented improvement in spasticity according to the modified Ashworth scale, decrease in pain intensity according to VAS, and gradual recovery of the joint range of motion according to goniometry; furthermore, after 3 months of robotic rehabilitation, they showed benefits in their quality of life.

Autores:

¹Médico fisiatra. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica (Manizales, Colombia).

²Médico general e Ingeniero electrónico. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica (Manizales, Colombia).

³Médico neurólogo. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica (Manizales, Colombia).

⁴Fisioterapeuta especialista en intervención terapéutica en ortopedia y traumatología, Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica (Manizales, Colombia).

⁵Médico ortopedista y cirujano de mano y miembro superior. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica (Manizales, Colombia).

⁶Estudiante de medicina, Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica (Manizales, Colombia).

Correspondencia:
José Fernando Gómez-Rendón
gomezjfd@gmail.com

Recibido: 14.09.20

Aceptado: 24.02.21

Citación:

Gómez-Rendón JF, Moreno-Arango JD, Medina-Salcedo JM, Becerra-Velásquez J, Gil-Henao GA, Gil-Guerrero MA. Rehabilitación robótica en espasticidad de mano y muñeca. Rev Col Med Fis Rehab 2020;30(2):103-115. <https://doi.org/10.28957/rcmfr.v30n2>

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.



Discussion. Randomized clinical trials are required to determine the advantages of conventional physical therapy complemented with robotic therapy, compared to conventional therapy alone.

Conclusions. Passive mobilization with robotic orthosis in patients with hand and wrist spasticity due to upper motor neuronal syndrome favors spasticity modulation, pain reduction, recovery of the joint range of motion and quality of life.

Level of evidence. The purpose of the study is to generate clinical evidence (level III) to the advantages of passive mobilization with robotic orthosis in the rehabilitation of patients with hand and wrist spasticity.

Key words. Muscle spasticity, motor neurons, robotics, rehabilitation, orthotic devices.

<https://doi.org/10.28957/rcmfr.v30n2>



INTRODUCCIÓN

El término espástico proviene del latín *spasticus* que se refiere a “sufrir espasmos” y es un préstamo del griego *spastikós* (σπαστικός) que significa “algo que posee la propiedad de tirar hacia sí”¹. La espasticidad corresponde a un control sensoriomotor desordenado como consecuencia del Síndrome de Neurona Motora Superior (UMNS, del inglés *Upper Motor Neural Syndrome*), el cual se caracteriza por un aumento de la excitabilidad de los reflejos de estiramiento fásicos y tónicos que produce un aumento del tono muscular²⁻⁵. En pacientes hemipléjicos la espasticidad en la extremidad inferior favorece la locomoción mientras que la espasticidad en la extremidad superior afecta la funcionalidad de la mano³.

Las patologías que causan lesión de la neurona motora superior son muy frecuentes. En EE. UU. la prevalencia estimada presenta el siguiente perfil: en accidente cerebrovascular es de 2.600.000 para hombres y 3.900.000 para mujeres; en lesión cerebral traumática de 5.300.000; en parálisis cerebral de 764.000; en esclerosis múltiple de 400.000 y en lesión medular traumática de 259.000⁶.

Luego del primer año del UMNS, la prevalencia de la espasticidad es aproximadamente de 23% en pacientes con enfermedad cerebrovascular, de 34% en pacientes con lesión cerebral traumática, de 85% en aquellos con parálisis cerebral, de 67% en quienes han padecido esclerosis múltiple y del 68% en pacientes con lesión medular traumática⁶.

El UMNS es causado por una lesión proximal a la motoneurona del asta anterior de la médula espinal; tiene componentes tanto negativos —debilidad, parálisis y fatiga—, como positivos —espasticidad, atetosis, hiperreflexia, liberación de reflejos primitivos y distonía—. La hiperreflexia, la hipertonía, la co-contracción, el clonus y la rigidez se presentan con frecuencia asociados con la espasticidad^{4,5,7}.

La espasticidad resulta de una hiperexcitabilidad del reflejo de estiramiento relacionada con funcionamiento deficiente de los mecanismos de control espinal, lo cual incluye principalmente reflejos tónicos por vías II, inhibición recíproca, inhibición presináptica, inhibición autogénica y depresión posactivación. La hipertonía en la espasticidad se atribuye a un procesamiento anormal de la información propioceptiva que integra el reflejo miotático tónico en la médula espinal. Además, en el músculo espástico se describen alteraciones como cambios en el tamaño y la distribución de los tipos de fibras musculares, proliferación de material de la matriz extracelular, aumento de la rigidez de las fibras musculares y del tejido muscular, y reducción de las propiedades mecánicas del material extracelular^{3,4,7,8}.

Los patrones clínicos más frecuentes de espasticidad en el miembro superior son: hombro en aducción/rotación interna, codo en flexión, antebrazo en pronación, muñeca en flexión, puño cerrado, pulgar incluido en la palma y dedos en garra. La espasticidad puede variar a lo largo del día, cambiar con diferentes

posiciones y aumentar ante cualquier estímulo nociceptivo^{6,7,8}.

La espasticidad leve se caracteriza por clonus e incremento del tono sin compromiso de la funcionalidad; la espasticidad moderada, por disminución del rango de movimiento, contracturas y dificultad para la prensión; finalmente, la variante severa, por marcado incremento del tono, disminución de la movilidad articular, aumento de las contracturas y limitación funcional. La escala de Ashworth Modificada es la más utilizada para evaluación del tono muscular⁶.

El tratamiento de la espasticidad debe ser individualizado y los objetivos han de acordarse con unas expectativas realistas. Los principales objetivos son mejorar la funcionalidad (marcha, sedestación, manejo de silla de ruedas), mejorar la calidad de vida (disminuir el dolor, concebir sueño reparador), facilitar las actividades de la vida diaria (higiene, alimentación, vestirse), prevenir y tratar las complicaciones (contracturas, subluxaciones, úlceras de presión), así como mejorar la estética⁷⁻¹⁰.

La rehabilitación de la espasticidad implica técnicas de fisioterapia convencional (tratamiento postural, movilización articular, estiramientos, crioterapia, biorregulación, hidroterapia, electroestimulación, férulas y órtesis) y terapia ocupacional. El tratamiento farmacológico incluye medicamentos como baclofeno, diazepam, tizanidina, dantroleno, gabapentina, cannabinoides y toxina botulínica. El tratamiento quirúrgico se recomienda cuando se requiere recuperar o adquirir alguna función; en especial, la cirugía ortopédica se requiere cuando existen deformidades osteomusculares asociadas a la espasticidad⁶⁻¹¹.

Los tratamientos antiespásticos intentan reducir la retroalimentación sensorial que reciben las motoneuronas; por lo tanto, se debe tener precaución en aquellos pacientes con espasticidad leve o moderada, además de cierto grado de funcionalidad remanente, a fin de evitar afectar la función motora residual^{3,11}.

En las últimas décadas, la robótica ha potenciado el desarrollo de exoesqueletos para la movilización pasiva del miembro superior. La mayoría de estudios se han enfocado en la rehabilitación funcional de pacientes con accidente cerebrovascular. La información referente a rehabilitación robótica de la espasticidad es limitada y está relacionada con la espasticidad en fases tempranas del accidente cerebrovascular¹²⁻¹⁸.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la ciudad de Manizales (Colombia) y tuvo una duración de 33 meses, iniciando en junio de 2017 y finalizando en febrero de 2020. Se incluyeron cinco (5) pacientes con espasticidad en mano y muñeca ocasionada por síndrome de neurona motora superior de diferentes etiologías; los seleccionados cumplieron los siguientes criterios de inclusión: mayores de 18 años, residentes en la ciudad de Manizales, excelente red de apoyo familiar, patologías de base compensadas en los últimos seis meses y sin alteraciones cognitivas. Por su parte, se definieron los siguientes criterios de exclusión: pacientes menores de 18 años, residentes temporales o con intención de cambiar su lugar de residencia en los siguientes dos años, sin cuidador o deficiente red de apoyo familiar, con patologías de base no controladas y con alteraciones cognitivas.

Las intervenciones practicadas a todos los pacientes por el grupo de investigación comprendieron las siguientes acciones:

- 1) Se brindó y solicitó firma del consentimiento informado.
- 2) Fisiatría y Neurología realizaron valoración inicial y semestral de las variables 'dolor', 'espasticidad' y 'arcos de movilidad articular'.
- 3) Fisioterapia realizó dos (2) sesiones de terapia física semanales de 60 minutos de duración cada una.

- 4) Ingeniería biomédica diseñó las órtesis robóticas personalizadas, supervisó la sesiones de terapia robótica iniciales, entrenó a un familiar y/o cuidador para el manejo de la órtesis robótica en el hogar del paciente, realizó las modificaciones en la programación de las ganancias en el ángulo de giro y el torque del servomotor.
- 5) Se indicó al paciente realizar una sesión de terapia robótica diaria de 30 minutos de duración cada una, los días lunes a viernes descansando fines de semana y festivos.
- 6) Se diseñó un formato para que el familiar y/o cuidador registrara las terapias de rehabilitación robótica realizadas y el programador documentara las ganancias en las variables dinámicas del exoesqueleto.
- 7) Se realizó un programa de mantenimiento preventivo semestral y se solucionaron continuamente las fallas técnicas de la órtesis robótica referidas por los pacientes.

Los instrumentos utilizados fueron: la historia clínica, la escala de Ashworth Modificada, la escala visual análoga del dolor (EVA,), el goniómetro y la [órtesis robótica PRO-DWix®](#).

Para la medición de la espasticidad utilizamos la escala de Ashworth Modificada⁶:

1-	Ningún aumento del tono muscular
0	Aumento discreto del tono con resistencia mínima al movimiento pasivo
1+	Aumento discreto del tono con resistencia en todo el movimiento pasivo
2	Disminución del rango de movimiento mayor de 50% y menor del 100%
3	Rango de movilidad limitada en menos del 50%
4	Limitación severa a la movilidad.

Para la medición del dolor utilizamos la escala visual análoga del dolor (EVA)¹⁹.

Sin dolor	Puntuación entre 0 y 4 mm
Dolor leve	Puntuación entre 5 y 44 mm
Dolor moderado	Puntuación entre 45 y 74 mm
Dolor severo	Puntuación entre 75 y 100 mm.

Para las terapias de movilización pasiva se realizó un diseño personalizado de la órtesis robótica PRO-DWix®²⁰ adaptando el exoesqueleto a las dimensiones anatómicas de la mano y la muñeca de cada paciente; además, se implementó un módulo de control electrónico manipulable exclusivamente mediante un *software* y se ensambló una fuente de alimentación conmutada que obtiene su energía de la red eléctrica con el propósito de garantizar las terapias de rehabilitación robótica en el hogar del paciente, evitando el uso de baterías contaminantes.

En el primer año del estudio se indicó la movilización pasiva de la articulación de la muñeca exclusivamente, mientras que para el segundo año se propuso, adicionalmente, la movilización pasiva de la muñeca y de los dedos. Para la movilización pasiva se utilizó la órtesis robótica PRO-DWix®, Este equipo biomédico tiene tres interfaces: órtesis-piel (protectores del antebrazo, protectores de los dedos y soporte de mano), órtesis pasiva (brazalete metálico y piezas de acrílico articuladas), órtesis activa (servomotores).

El módulo de control electrónico del exoesqueleto PRO-DWix® permitió al programador del *software* controlar las variables dinámicas de la órtesis robótica mediante ganancias progresivas en el arco, la velocidad y la fuerza del movimiento articular. Se realizaron incrementos en el ángulo de giro de 10 a 15 grados hasta el límite del arco del movimiento articular, incrementos en el tiempo de flexión-extensión de 5 a 7 segundos, y ganancia en el torque de 5 a 10 kg/cm hasta un máximo torque

de 40 kg/cm en cada servomotor. Los incrementos de ganancia en estas variables se registraron en cada paciente particular, según la tolerancia al dolor o la resistencia al desplazamiento ofrecida por el grado de espasticidad.

El comité de bioética de la Universidad de Caldas aprobó la realización del estudio al cumplir con las normas nacionales e internacionales de buenas prácticas de investigación clínica. El presente estudio fue financiado por la Fundación F-CIBER pero la fuente de financiamiento no desempeñó ningún papel en el desarrollo de la investigación.

Descripción de casos clínicos

Primer paciente. La edad de ingreso al estudio fue de 77 años, de sexo femenino y empresaria pensionada con actividad social muy activa. Antecedentes personales de hipertensión arterial, diabetes mellitus, hipotiroidismo y enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Presentó un primer evento cerebrovascular isquémico en 2011 y un segundo ictus en 2015; como secuelas neurológicas se constata hemiparesia derecha, disfonía y espasticidad. Recibe terapia física domiciliar dos veces por semana de forma particular. Es totalmente dependiente y cuenta con auxiliar de enfermería



Figura 1. Espasticidad en el paciente 1.

24 horas. Se entrenaron las auxiliares de enfermería para el manejo de la órtesis robótica en el hogar del paciente (Figuras 1 y 6).

Segundo paciente. Su edad de ingreso al estudio fue de 69 años, de sexo femenino y ocupación en cuidado del hogar. Antecedentes personales de hipertensión arterial y síndrome convulsivo. Presentó un evento cerebrovascular hemorrágico en 1992, posterior a episodio convulsivo durante el posquirúrgico de una resección de meningioma parietal derecho; como secuelas neurológicas se encuentra hemiparesia izquierda y espasticidad. Recibe fisioterapia eventualmente de forma particular. Es totalmente independiente y vive sola, no cuenta con cuidador. Se entrenó al empleado de mantenimiento del edificio para el manejo de la órtesis robótica en el hogar (Figuras 2 y 7).



Figura 2. Espasticidad en el paciente 2.

Tercer paciente. La edad de ingreso al estudio fue los 44 años, de sexo femenino, ocupación actual economista y empresaria, y sin comorbilidades. Presentó un episodio cerebrovascular hemorrágico en 1995 como evento adverso posterior a la aplicación de adrenalina para manejo de hipotensión medicamentosa; como secuelas neurológicas muestra hemiparesia derecha y espasticidad; padeció de fractura de su muñeca derecha en el año 2000. Recibe terapia física eventual de forma particular y practica pilates. Es totalmente independiente y, aunque vive con su esposo e hijo, la misma paciente se entrenó para el manejo de la órtesis robótica en el hogar (Figuras 3 y 8).



Figura 3. Espasticidad en el paciente 3.

Cuarto paciente. Su edad de ingreso al estudio fue de 78 años, de sexo femenino y ocupación en cuidado del hogar; antecedentes personales de fibrilación auricular. Presentó un evento cerebrovascular isquémico en 2012; como secuelas neurológicas presenta hemiparesia izquierda y espasticidad. Recibe terapia física domiciliaria dos veces por semana de forma particular. Es parcialmente independiente; sin embargo, el miedo a caer la hace más dependiente, cuenta con familiares cuidadores permanentes. Se entrenó a la hija de la paciente para el uso de la ortesis robótica en el hogar (Figuras 4 y 9).



Figura 4. Espasticidad en el paciente 4.

Quinto paciente. La edad de ingreso al estudio fue de 42 años, de sexo masculino y ocupación ingeniero agrónomo y docente virtual del SENA; sin comorbilidades. Presentó lesión medular cervical traumática a nivel C4-C5, derivado de hurto y violencia con arma de fuego en 1994; como secuelas neurológicas se encuentra cuadriparesia espástica a nivel C6.

Recibe terapia física irregular por su aseguradora de salud. Es independiente para trabajar desde su computador como docente y escritor; sin embargo, es dependiente para otras actividades básicas y cuenta con familiares cuidadores permanentes. Se entrenó a estos familiares para el manejo de la ortesis robótica en el hogar (Figuras 5 y 10).



Figura 5. Espasticidad en el paciente 5.

RESULTADOS

Sexo y edad. Se incluyeron en el estudio cinco (5) pacientes, cuatro (4) mujeres y un (1) hombre. Las edades de los pacientes oscilaron entre 42 y 78 años, siendo el 60% mayores de 65 años.

Etiología del UMNS. Participaron dos (2) pacientes con enfermedad cerebrovascular isquémica, dos (2) pacientes con enfermedad cerebrovascular hemorrágica y un (1) paciente con lesión medular cervical traumática (Tabla 1).

Evolución de la espasticidad de mano y muñeca. Todos los pacientes disminuyeron el grado de severidad de la espasticidad en mano y muñeca hasta Ashworth 2 (Tabla 2). Todos los pacientes suspendieron el uso de la ortesis robótica temporalmente a causa de comorbilidades y presentaron aumento de la espasticidad hasta Ashworth 3; estos eventos se relacionaron con infección respiratoria y urinaria en el paciente 1, trauma en pie asociado a síndrome vertiginoso en el paciente 2, posquirúrgico en el paciente 3, lumbalgia por

Tabla 1. Caracterización clínica de los pacientes al ingreso al estudio.

N	Etiología	Secuela	Espasticidad de mano y muñeca	Tiempo de evolución
1	ECV Isquémica	Hemiparesia derecha	Severa	6 años
2	ECV Hemorrágica	Hemiparesia izquierda	Moderada	26 años
3	ECV Isquémica	Hemiparesia izquierda	Severa	23 años
4	ECV Hemorrágica	Hemiparesia derecha	Moderada	6 años
5	LMC Traumática	Cuadriparesia espástica	Severa	24 años

N: número de paciente de acuerdo a la fecha de ingreso al estudio.
 ECV: Enfermedad Cerebrovascular; LMC: Lesión Medular Cervical.

Tabla 2. Evolución de la espasticidad: valoración semestral según escala de Ashworth Modificada.

N	Ashworth inicial	Ashworth a 6 meses	Ashworth a 12 meses	Ashworth a 18 meses
1	4	3	2	2
2	4	3	2	2
3	3	3	2	2
4	2	2	3	2
5	3	2	3	2

N: número de paciente de acuerdo con la fecha de ingreso al estudio.

compresión radicular en el paciente 4 y escara sacra sobreinfectada en el paciente 5. Otras causas, como fallas técnicas del equipo y viajes de los pacientes a otras ciudades, contribuyeron con los tiempos de no uso temporal del equipo. En todos los pacientes, la espasticidad se moduló nuevamente hasta Ashworth 2 al mejorar las condiciones de salud descritas y luego de tres semanas de retomar la rehabilitación robótica.

Adicionalmente, luego de 12 meses de movilización pasiva con la órtesis robótica de muñeca exclusivamente, se observó que la espasticidad en la muñeca y los dedos llegaba hasta Ashworth 0 durante la terapia robótica (pacientes 2, 3 y 4); excepto en los pacientes con contracturas tendinosas de los dedos, donde el límite del movimiento lo afectaban dichas contracturas (pacientes 1 y 5).

Solamente los pacientes 1 y 3 permitieron el ensamblaje de la órtesis robótica de mano con la órtesis robótica de muñeca; si bien refirieron una sensación de menor pesadez y menor frialdad en los dedos, no obtuvieron

beneficios adicionales en las escalas de medición con respecto a los pacientes que utilizaron exclusivamente la órtesis de muñeca.

Evolución del dolor. La primer paciente presentaba dolor intenso en mano y muñeca asociado a la severidad de la espasticidad; con el uso de la órtesis robótica disminuyó el dolor hasta EVA 0/10. La cuarta paciente presentaba dolor leve en muñeca que también disminuyó hasta EVA 0/10 con el uso de la órtesis robótica (Tabla 3).

Evolución de los arcos de movilidad articular. Todos los pacientes mejoraron

Tabla 3. Evolución del dolor: valoración semestral según escala visual análoga (EVA).

N	EVA inicial	EVA a 6 meses	EVA a 12 meses	EVA a 18 meses
1	10	4	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	2	0	0	0
5	0	0	0	0

N: número de paciente de acuerdo con la fecha de ingreso al estudio.

Tabla 4. Evolución de los arcos de movilidad articular en la muñeca con la rehabilitación robótica.

N	Lado	Inicial	6 meses		12 meses		18 meses		
		FLM	EXM	FLM	EXM	FLM	EXM	FLM	EXM
1	Der.	40°	-10°	40°	-5°	45°	0°	50°	5°
2	Izq.	55°	0°	65°	10°	75°	25°	90°	35°
3	Der.	75°	-5°	75°	0°	90°	25°	90°	45°
4	Izq.	75°	25°	75°	25°	85°	30°	90°	30°
5	Der.	0°	45°	30°	45°	30°	45°	45°	60°
	Izq.	90°	-45°	90°	0°	90°	0°	90°	45°

N: Número de paciente de acuerdo con la fecha de ingreso al estudio.
 FLM: Flexión de la muñeca. EXM: Extensión de la muñeca.

progresivamente los arcos de movilidad articular de la muñeca y de los dedos (Tabla 4).

Calidad de vida. Luego del tercer mes de participar en el estudio, tanto los pacientes como los cuidadores refirieron mejoría en su calidad de vida, principalmente porque era menor el esfuerzo para realizar las actividades básicas (bañarse, vestirse, sentarse, acostarse, comer, etc.). Además, las mujeres refirieron lograr mejorar el aspecto estético de la mano (uñas más largas que no se enterraban en la palma de la mano, pintado de las uñas, mano más abierta).

Intervención por terapia física. Las pacientes 1 y 4 recibieron la terapia física en el hogar, suspendieron temporalmente las sesiones por infección respiratoria y dolor radicular lumbar, respectivamente. Los pacientes 2, 3 y 5 recibieron las sesiones de terapia física programada en el consultorio de fisioterapia solo los primeros tres meses pero decidieron no dar continuidad a las terapias por dificultades para su desplazamiento.

Intervención con rehabilitación robótica. Todos los pacientes utilizaron el equipo de forma irregular puesto que, en promedio, solo llevaron a cabo el 90% de las sesiones indicadas

para el primer semestre, el 70% de las sesiones indicadas para el segundo semestre, y el 60% de las sesiones para el tercer semestre. Los pacientes no usaron el equipo cuando se encontraban de viaje o cuando presentaban enfermedades asociadas (Figuras 6 a 10).

Adherencia. En general, la adherencia al proceso de rehabilitación en el hogar mediante



Figura 6. Órtesis robótica PRO-DWix en el paciente 1.



Figura 7. Órtesis robótica PRO-DWix en el paciente 2.

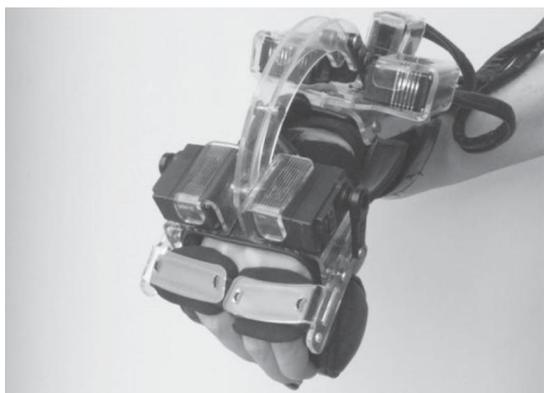


Figura 8. Órtesis robótica PRO-DWix en el paciente 3.



Figura 9. Órtesis robótica PRO-DWix en el paciente 4.



Figura 10. Órtesis robótica PRO-DWix en el paciente 5.

terapia física o robótica fue aceptable; sin embargo, la rehabilitación en el ambiente institucional implicó problemas por el desplazamiento de los pacientes.

Eventos adversos. No se presentaron eventos adversos durante las sesiones de terapias físicas, ni durante las sesiones de terapias de rehabilitación robótica.

DISCUSIÓN

El presente estudio tiene la limitación de contar con una muestra pequeña de cinco (5) pacientes. Sin embargo, a diferencia de otros estudios relacionados con neurorehabilitación robótica¹²⁻¹⁸, posee la fortaleza de haberse realizado en pacientes con UMNS de diferente etiología, con tiempos de evolución prolongados, con espasticidad en estadios avanzados (ver [Tabla 1](#)) y con el uso innovador de un exoesqueleto robótico diseñado para rehabilitación en el hogar.

En teoría, la movilización pasiva de la mano y la muñeca con la órtesis robótica ocasiona la excitación de los husos musculares que desencadenan el reflejo miotático repetidamente hasta su agotamiento. Además, el cambio de tensión en los tendones de la musculatura flexora y extensora durante los movimientos pasivos, excita los órganos tendinosos de Golgi lo cual dispara repetidamente el reflejo anti-miotático.

Las ventajas de la movilización pasiva en pacientes con espasticidad de mano y muñeca, mediante rehabilitación robótica domiciliaria, se relacionan con la posibilidad de complementar la rehabilitación convencional; garantizar la implementación de movimientos repetitivos sincrónicos (torque, amplitud y duración); aumentar la frecuencia de las sesiones de fisioterapia; disminuir los traslados de pacientes a centros de rehabilitación; y favorecer la adherencia a los programas de rehabilitación en lugares distantes.

En esta fase de la investigación se detectaron limitaciones en cuanto a la necesidad de

un familiar o cuidador entrenado para el uso apropiado del exoesqueleto mecatrónico, la disposición del paciente de acuerdo a su estado de salud físico y mental para adherirse a las sesiones de terapia indicadas, y las fallas técnicas de la tecnología robótica en desarrollo.

Los riesgos para los pacientes —como lesiones en la piel por el contacto con piezas mecánicas, aumento del dolor por fuerza excesiva del exoesqueleto, quemaduras eléctricas y trauma por explosión de servomotores— fueron superados mediante la implementación de estándares de diseño en seguridad mecánica, eléctrica y electromagnética, evitando así que se presentaran eventos adversos durante el desarrollo del estudio.

Se requieren ensayos clínicos aleatorizados para generar evidencia clínica de nivel I, sobre la posibilidad de prevenir estados avanzados de espasticidad mediante la movilización pasiva temprana con el uso de rehabilitadores robóticos en el hogar para los pacientes con lesiones de motoneurona superior.

CONCLUSIONES

La movilización pasiva de mano y muñeca con la órtesis robótica favoreció en los pacientes la modulación de la espasticidad asociada con UMNS o síndrome de neurona motora superior. Adicionalmente, contribuyó con la disminución progresiva del dolor, la ganancia de amplitud en los arcos de movilidad articular y diversos beneficios en la calidad de vida.

Los costos asociados con la terapia física domiciliar y las dificultades para el desplazamiento de personas con discapacidad a la terapia física institucional, ocasionó que tres de los pacientes del estudio no continuaran con su rehabilitación de forma regular, luego del tercer mes de iniciado el proceso de rehabilitación.

La adherencia a la terapia de rehabilitación robótica fue muy favorable en todos los pacien-

tes, especialmente durante los primeros meses en que contaban en casa con un equipo novedoso. También influyeron situaciones como enfermedad, viajes y fallas técnicas del equipo, las que contribuyeron a la suspensión temporal del uso de robótica.

La programación del módulo de control electrónico con ganancias progresivas en el ángulo, tiempo y torque de giro de los servomotores, fueron fundamentales para garantizar el aumento progresivo del arco de movimiento articular, disminuir la resistencia al movimiento pasivo y comandar el sistema de control motor mediante un dispositivo externo.

La modulación de la espasticidad, favorecida por la movilización pasiva de mano y muñeca con la ayuda de órtesis robóticas, hace factible pensar en programar los exoesqueletos como un sistema de control motor externo para modular el tono muscular de pacientes espásticos en grupos musculares de miembros superiores e inferiores.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de los pacientes.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

José Fernando Gómez Rendón: Evaluación clínica de pacientes, seguimiento a variables y análisis de resultados.

Javier Mauricio Medina Salcedo: Evaluación clínica de pacientes, seguimiento a variables y análisis de resultados.

Jimena Becerra Velasquez: Evaluación clínica, terapia física a los pacientes y análisis de resultados.

Juan David Moreno Arango: Diseño y fabricación de órtesis robóticas personalizadas, reparación y mantenimiento de equipos.

Gilberto Andrés Gil Henao: Supervisión de la metodología e implementación de buenas prácticas de investigación clínica.

María Alejandra Gil Guerrero: Consentimiento informado, seguimiento a adherencia, creación de bases de datos.

FINANCIACIÓN

El presente estudio fue financiado por la Fundación F- CIBER-M317.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a los pacientes y a sus familiares por el interés de invertir en el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de la espasticidad, por su pasión en dar continuidad al proceso de rehabilitación robótica, y por su noble motivación de esforzarse en alcanzar beneficios que a futuro pudieran favorecer a otros pacientes.

REFERENCIAS

1. Soriano Mas C, Guillazo Blanch G, Redolar Ripoll DA, Torras García M, Vale Martínez A. Fundamentos de neurociencia. 1a. ed. Barcelona (España): Editorial UOC; 2007 [citado 2020 diciembre 12]. Disponible en: <https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia>
2. Segal M. Muscle Overactivity in the Upper Motor Neuron Syndrome. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. [Internet]. 2018 [citado 2020 diciembre 15];29(3):427-436. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.04.005>
3. Navarro X, Udina E. Neurofisiología de la espasticidad. En: Juan-García FJ (coord). Evaluación clínica y tratamiento de la espasticidad. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2009 [citado 2020 diciembre 18]. p. 1-15. Disponible en: <https://www.medicapanamericana.com/co/libro/evaluacion-clinica-y-tratamiento-de-la-espasticidad>
4. Duchateau J, Enoka RM. Human motor unit recordings: Origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res* [Internet]. 2011 [citado 2020 noviembre 27];1409:42-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.06.011>. Errata en: *Brain Res*. 2011 Nov 3;1421:121.
5. Trompetto C, Marinelli L, Mori L, Pelosin E, Currà A, Molfetta L, et al. Pathophysiology of spasticity: implications for neurorehabilitation. *BioMed Res Int*. 2014;2014:354906. Disponible en: <http://doi.org/10.1155/2014/354906>. Epub 2014 Oct 30.
6. Brashear A. Spasticity. Diagnosis and management. 2nd ed. New York: Demos Medical Publishing; 2015. Disponible en: <https://www.springerpub.com/spasticity-9781620700723.html-productdetails>
7. Sepúlveda P, Bacco JL, Cubillos A, Doussoulin A. Espasticidad como signo positivo de daño de motoneurona superior y su importancia en rehabilitación. *CES Med* [Internet]. 2018 [citado 2020 diciembre 14];32(3):259-260. Disponible en: <https://revistas.ces.edu.co/index.php/medicina/article/view/4528>
8. Sáinz-Pelayo MP, Albu S, Murillo N, Benito-Penalva J. Espasticidad en la patología neurológica. Actualización sobre mecanismos fisiopatológicos, avances en el diagnóstico y tratamiento. *Rev Neurol* [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 15];70(12):453-460. Disponible en: <http://doi.org/10.33588/rn.7012.2019474>
9. Ferrer Pastor M, Iñigo Huarte V, Juste Díaz J, Goiri Noguera D, Sogues Colom A, Cerezo Durá M. Revisión sistemática del tratamiento de la espasticidad en el adulto con daño cerebral adquirido. *Rehabilitación*. [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 16];54(1):51-62. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.rh.2019.06.006>
10. Khan F, Amatya B, Bensmail D, Yelnike A. Non-pharmacological interventions for spasticity in adults: An overview of systematic reviews. *Ann Phys Rehabil Med* [Internet]. 2019 [citado 2020 diciembre 14];62(4):265-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.10.001>
11. Chang E, Ghosh N, Yanni D, Lee S, Alexandru D, Mozaffar T. A Review of Spasticity Treatments: Pharmacological and Interventional Approaches. *Crit Rev Phys Rehabil Med* [Internet]. 2013 [citado 2020 diciembre 15];25(1-2):11-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1615/critrevphysrehabilmed.2013007945>
12. Gandolfi M, Valè N, Dimitrova EK, Mazzoleni S, Battini E, Filippetti M, et al. Effectiveness of robot-assisted upper limb training on spasticity, function and muscle activity in chronic stroke patients treated with botulinum toxin: A randomized single-blinded controlled trial. *Frontiers*

- in Neurology [Internet]. 2019 [citado 2020 diciembre 16];2019:0041. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00041>
13. Huan Y, Nam C, Li W, Rong W, Xie Y, Liu Y, et al. A comparison of the rehabilitation effectiveness of neuromuscular electrical stimulation robotic hand training and pure robotic hand training after stroke: A randomized controlled trial, Biomed Signal Process Control. [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 17];56:101723. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.101723>
 14. De-la-Torre R, Oña ED, Balaguer C, Jardón A. Robot-Aided Systems for Improving the Assessment of Upper Limb Spasticity: A Systematic Review. Sensors [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 17];20(1):5251. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s20185251>
 15. Godfrey SB, Holley RJ, Lum PS. Clinical effects of using HEXORR (Hand Exoskeleton Rehabilitation Robot) for movement therapy in stroke rehabilitation. Am J Phy Med Rehabil [Internet]. 2013 [citado 2020 diciembre 18];92(11):947-958. Disponible en: <http://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31829e7a07>
 16. Sale P, Bovolenta F, Agosti M, Clerici P, Franceschini M. Short-term and long-term outcomes of serial robotic training for improving upper limb function in chronic stroke. Int J Rehabil Res [Internet]. 2014 [citado 2020 diciembre 18];37(1):67-73. Disponible en: <http://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000036>
 17. Sale P, Franceschini M, Mazzoleni S, Palma E, Agosti M, Posteraro F. Effects of upper limb robot-assisted therapy on motor recovery in subacute stroke patients. J Neuroeng Rehabil [Internet]. 2014;19(11):104. Disponible en: <http://doi.org/10.1186/1743-0003-11-104>
 18. Kim GJ, Chen P. Role of instruction adherence during highly structured robotic arm training on motor outcomes for individuals after chronic stroke. Am J Phys Med Rehabil [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 20];99(4):353-356. Disponible en: <http://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001333>
 19. Krabbe P. Chapter 5 - Constructs and Scales. En: Krabbe P, editor. The measurement of health and health status - Concepts, methods and applications from a multidisciplinary perspective [Internet]. London: Elsevier Academic Press; 2017 [citado 2020 diciembre 20] . p. 67-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801504-9.00005-2h>
 20. Moreno-Arango JD, Moreno-Arango JA. Robots para rehabilitación de espasticidad en mano y muñeca. Ponencia presentada en: X Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad -IBERDISCAP-; 2019 noviembre 20, 21 y 22; Buenos Aires (Argentina). p. 341-344. Disponible en: https://www.dropbox.com/s/fwvg8snpa65qc9a/MEMORIASIBERDISCAP2019_FINAL.pdf?dl=0