



# Estimulación eléctrica funcional y uso de ortesis robótica con un programa de control motor en un paciente con parálisis cerebral: reporte de caso

## Functional electrical stimulation with robotic gait training within a motor control program in a patient with cerebral palsy: case report

**Palabras clave:**

Parálisis cerebral, función motora, estimulación eléctrica funcional, entrenamiento robótico.

**Keywords:**

Cerebral palsy, motor function, functional electrical stimulation, robot-assisted training.

Maraly Guadalupe González-Ojeda,\* Elsa María Ivon Pérez-Flores,‡  
Magali Soriano-Hernández,§ Juan Carlos Peña-Bañuelos¶

**RESUMEN**

**Introducción:** La reeducación de marcha con ortesis robótica y la estimulación eléctrica funcional con dispositivos inalámbricos utilizados en conjunto son tratamientos poco habituales en nuestro medio, aunque existe evidencia de su efectividad. El objetivo de este estudio fue describir la respuesta al tratamiento combinado con estas modalidades en un paciente pediátrico con parálisis cerebral. **Material y métodos:** Se implementó un programa de terapia física en un niño con PC utilizando dispositivos bilaterales de FES inalámbrico colocados al nervio peroneo junto con la reeducación de la marcha con ortesis robótica a la par de un programa de control motor, realizando evaluaciones funcionales y de fuerza. **Resultados:** Posterior al tratamiento la función motora gruesa aumentó 6.17% en el GMFM-88, el control selectivo de la extremidad inferior valorada con SCALE aumentó en cinco puntos, y en la evaluación con el uso del dinamómetro se reportó un aumento de fuerza en la flexión de cadera y rodilla. **Conclusiones:** El paciente mostró una mejoría en funcionalidad, fuerza y control motor con la combinación de tratamientos utilizados; sin embargo, el costo de los equipos dificulta el uso generalizado de esta estrategia terapéutica. Será necesario valorar en una muestra más grande sus beneficios y su costo efectividad.

**ABSTRACT**

**Introduction:** The combined use of gait retraining with robotic orthoses and functional electrical stimulation with wireless devices are uncommon treatments in our environment, although there is evidence of its effectiveness. The objective of this study was to describe the response to combination treatment with these modalities in a pediatric patient with cerebral palsy. **Material and methods:** A physical therapy program was implemented in a child with PC using bilateral wireless FES devices placed on the peroneal nerve along with robotic orthotic gait retraining in conjunction with a motor control program, performing functional and strength assessments. **Results:** After treatment, gross motor function increased by 6.17% in GMFM-88, selective control of the lower limb assessed with SCALE increased by five points, and in the evaluation with the use of the dynamometer, an increase in hip and knee flexion strength was reported. **Conclusions:** The patient showed an improvement in functionality, strength and motor control with the combination of treatment used, however, the cost of the equipment makes it difficult to use this therapeutic strategy widely, it will be necessary to assess in a larger sample its benefits and cost effectiveness.

**INTRODUCCIÓN**

La parálisis cerebral (PC) es la causa más frecuente de discapacidad motora en la edad pediátrica, es un trastorno que aparece

en la primera infancia y persiste toda la vida. Se describe como un grupo de alteraciones que afectan el desarrollo normal del movimiento y la postura, lo que causa limitación en la actividad, siendo atribuidas a lesiones no

Recibido:  
noviembre, 2019.  
Aceptado:  
julio, 2020.

**Citar como:** González-Ojeda MG, Pérez-Flores EMI, Soriano-Hernández M, Peña-Bañuelos JC. Estimulación eléctrica funcional y uso de ortesis robótica con un programa de control motor en un paciente con parálisis cerebral: reporte de caso. Rev Mex Med Fis Rehab 2020; 32 (1-2): 11-18. <https://dx.doi.org/10.35366/98514>



progresivas en el cerebro inmaduro. Su prevalencia en países desarrollados se estima que es de 2 a 2.5 casos por cada 1,000 recién nacidos vivos<sup>1</sup>.

En la rehabilitación de pacientes con PC ambulatorios es frecuente que en el tratamiento se utilicen métodos para reeducación de la marcha, aun en niños que son independientes para la deambulación, ya que pueden presentar limitaciones al caminar en comunidad; esto se atribuye en gran medida a las deficiencias musculoesqueléticas secundarias de miembros inferiores que incluyen: una combinación de espasticidad de los músculos gastrocnemios, debilidad en la dorsiflexión y un control motor selectivo deficiente del tobillo. La combinación de estos factores limita la liberación efectiva del pie durante la fase de balanceo de la marcha y puede provocar caídas. El entrenamiento específico de la marcha puede realizarse por medio de ortesis robóticas como el Lokomat® (Hocoma AG, Volketswil, Suiza), un dispositivo pediátrico para su uso en niños desde los cuatro años; sin embargo, sólo hay unos cuantos estudios que evalúan esta terapia en pacientes con lesión cerebral<sup>2</sup>.

En pacientes con PC existe evidencia científica de que la aplicación de estimulación eléctrica funcional (FES) administrada al nervio peroneo común facilita la flexión dorsal de la articulación del tobillo durante la fase de balanceo en el ciclo de la marcha, obteniendo un efecto terapéutico evitando la caída del pie<sup>3</sup>. Además durante el uso del FES se generan ráfagas de pulsos cortos de carga eléctrica que producen un campo eléctrico que dispara potenciales de acción en vías neuronales aferentes y eferentes. Las vías eferentes activadas de manera externa activan directamente los músculos que están inervados por las neuronas, pero esta activación difiere de la activación por un comando motor volitivo de una neurona motora superior. Paralelamente, la actividad desencadenada en vías aferentes lleva potenciales de acción a la médula espinal, donde se generan diversos reflejos (p. ej. el reflejo de extensión cruzada y el reflejo de flexión), y se activan las interneuronas y transmiten señales que finalmente llegan a la corteza<sup>4</sup>. En este sentido tras su aplicación se producen cambios plásticos en el sistema nervioso central, lo que justifica que mediante esta técnica es posible facilitar el aprendizaje y control motor (CM) durante la marcha<sup>5</sup>.

En el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) Baja California Sur se han atendido 710 pacientes con PC desde su apertura en el año 2011. Este caso se considera interesante, ya que es el primer paciente en el centro que bajo prescripción pudo adquirir un equipo

inalámbrico de FES para ambas extremidades inferiores con su consola de programación y en el que fue posible realizar de manera conjunta el entrenamiento robótico de la marcha con equipo de Lokomat® y efectuar la aplicación simultánea con un programa de terapia física con énfasis en manejo de CM.

Es una investigación que no conllevó un procedimiento invasivo. Se llevó a cabo respetando el derecho de confidencialidad y autonomía del paciente y con consentimiento informado firmado. Fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del CRIT de Baja California Sur.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se reporta el caso de paciente masculino de nueve años nueve meses de edad con diagnóstico de PC espástica bilateral (diplejía), nivel I del Sistema de Clasificación de la Función Motor Gruesa (SCFMG), con el objetivo de describir su respuesta a un tratamiento de reeducación de la marcha con ortesis robótica y uso de FES inalámbrico junto con un programa de terapia física basado en mejorar el CM de ambas extremidades inferiores.

A la fecha de revisión del caso, de acuerdo a lo registrado en el expediente clínico del paciente, a la exploración física tenía un peso corporal de 22.6 kilogramos y talla de 126 centímetros. A la inspección con marcha independiente, con contacto inicial plantígrado, con cadencia disminuida, logrando carrera, salto bipodálico, y monopodálico con asistencia. En la exploración de tono muscular en cadera 0/0, rodilla 1/1+, tobillo 1/1 en la escala de Ashworth modificada.

Dentro del manejo integral de rehabilitación del paciente, un médico especialista en rehabilitación pediátrica del equipo de FES inalámbrico realizó la prescripción debido a que se consideró candidato para su uso al no tener contracturas, presentar una dorsiflexión de tobillo completa y porque al haberse hecho la prueba con estimulación eléctrica con equipo inalámbrico en caminadora eléctrica se observó mejoría en patrón de marcha. Una vez adquirido el equipo Bioness L300 y su consola de programación, y al haber realizado el proveedor una capacitación para su uso, el programa terapéutico se enfocó en mejorar el control motor en extremidades inferiores y la reeducación del patrón de la marcha con la finalidad de disminuir el número de caídas que el paciente sufría a la deambulación en terreno irregular y a la carrera, que ocurrían cada vez que aceleraba la marcha.

El programa de terapia física consistió en 20 sesiones, 10 de reeducación de la marcha con ortesis robótica Lokomat® simultáneamente con el uso de FES en ambas

extremidades inferiores (Figura 1), y otras 10 sesiones individuales de terapia física y programa de casa para favorecer el CM con indicaciones dirigidas al familiar del paciente, incluyendo las siguientes actividades: calor superficial, estiramientos de miembros inferiores a músculos aductores de cadera, isquiotibiales y tríceps sural, movilización activo asistida a miembros pélvicos, libre a miembros torácicos, entrenamiento de propiocepción, reforzando equilibrio dinámico y estático con ojos cerrados, fortalecimiento a abdominales, glúteos, cuádriceps, tibial anterior, recto abdominal, transverso del abdomen, erector de la columna, actividades lúdicas que implicaron activación de movimientos enfocados a cadena muscular de flexión, extensión, apertura de miembro inferior y cadena cerrada con uso de cicloergómetro (Figura 2).

Se valoró al paciente utilizando las escalas de GMFM-88 y 66<sup>6</sup>, SCALE para evaluar control motor selectivo de cadera, rodilla y tobillo para pacientes con parálisis cerebral<sup>7</sup>, y utilizando el dinamómetro y el software del equipo de Lokomat<sup>®</sup> se realizó la prueba de L-FORCE.



**Figura 1:** Reeducación de la marcha con ortesis robótica Lokomat<sup>®</sup> simultáneamente con el uso de estimulación eléctrica funcional en ambas extremidades inferiores.



**Figura 2:** Ejercicios dirigidos a cadenas musculares para favorecer control motor en miembros inferiores.



**Figura 3:** Parámetros para la marcha del equipo inalámbrico estimulación eléctrica funcional.

Estas evaluaciones se llevaron cabo al inicio, a la mitad del tratamiento y al finalizar el mismo. El programa terapéutico se llevó a cabo en un periodo de nueve meses (de abril a diciembre de 2018) en sesiones con Lokomat<sup>®</sup> y terapia física institucional cada dos semanas, adaptándose a las posibilidades de la familia, ya que su lugar de residencia está a dos horas del centro de rehabilitación, complementando con programa de casa dos veces a la semana. La duración promedio de las sesiones de terapia fue de 50 minutos.

Los ajustes individuales de la ortesis de marcha Lokomat<sup>®</sup> V5.0 se realizaron acorde a la longitud de las extremidades inferiores del paciente, incluido el calzado.

Para la configuración del dispositivo inalámbrico de FES bilateral, en cada sesión se utilizaron electrodos de hidrogel, se colocó un electrodo en una posición distal y levemente posterior con respecto a la cabeza del peroné para estimular el nervio peroneo común. El

otro electrodo en una posición anterior con respecto al electrodo del nervio y a aproximadamente 5 cm de distancia del mismo sobre el vientre muscular del músculo tibial anterior, el paciente se encontraba en posición sedente. Las bases de los electrodos tenían un broche para sujetar los orificios de enganche de la banda del equipo de FES inalámbrico. Se ajustaron en la consola del equipo los parámetros para marcha, rampa de 0.2 segundos, ampliando 10% del tiempo total, con intensidad de 30 mA. Con forma de onda simétrica, la estimulación bifásica rectangular tenía una duración de pulso de 300  $\mu$ s (Figura 3).

Se prefirió la onda bifásica porque está reportado que este cambio rápido de la polaridad del estímulo disminuye la irritación de la piel y aumenta la comodidad y tolerancia<sup>8</sup> y con una frecuencia de 30 Hz para provocar una contracción suave<sup>9</sup>. La almohadilla del sensor de marcha se colocó bajo la plantilla y el sensor de presión del sensor de marcha se colocó encima de la almohadilla del sensor de marcha. La ortesis de marcha se fijó a las dos piernas del paciente por medio de tres pares de brazaletes, de los cuales se tomaron medidas correspondientes antes de subir al paciente al equipo.

Al iniciar el tratamiento se seleccionó velocidad alcanzando 1.2 km/h. La duración del periodo de estimulación fue controlada por las señales de salida del Lokomat<sup>®</sup>. La señal de comienzo correspondió al golpe en el talón de la pierna y la señal de finalización correspondió al inicio de la fase de postura de la pierna contralateral (Figura 4). Se trabajó reeducación de marcha frente al espejo, durante cada sesión se registró velocidad, distancia y tiempo.



**Figura 4:** Uso simultáneo de ortesis robótica de la marcha y estimulación eléctrica funcional.

**Tabla 1:** Resultados de las mediciones del GMFM-88 previo, durante y después del tratamiento de Lokomat<sup>®</sup> combinado con estimulación eléctrica funcional en paciente con parálisis cerebral.

Categoría	Inicial %	Intermedia %	Final %
A	100.00	100.00	100.00
B	100.00	98.33	98.33
C	92.86	97.62	97.62
D	69.23	66.67	87.18
E	80.56	79.17	90.28
Promedio	88.53	88.36	94.68

A = decúbito y volteo, B = posición sedente, C = gateo y posición de rodillas, D = bipedestación, E = caminar, correr y saltar.

Durante las primeras tres sesiones el paciente refirió molestia en tobillo del lado derecho y no se observó un choque de talón efectivo, por lo cual se hicieron pruebas del equipo en ambos miembros inferiores, durante las sesiones subsecuentes el choque de talón se realizó de manera efectiva, el equipo respondió adecuadamente, el paciente fue constante con sus ejercicios realizándose retroalimentación del trabajo en casa en las sesiones institucionales y se concluyó programa sin ninguna complicación.

## RESULTADOS

Se realizaron tres mediciones (inicial, intermedia, y final) en las fechas 27 de abril de 2018, 21 de septiembre de 2018 y 14 de diciembre de 2018, respectivamente (Tabla 1).

En promedio se reportó un incremento global de 6.17% en el GMFM-88, siendo las funciones dirigidas a la bipedestación, caminar, correr y saltar, las que presentaron un porcentual mayor en relación con las demás. La categoría A, decúbito y volteo se mantuvo en 100% en las tres mediciones.

Al graficar en el programa GMAE las mediciones del GMFM-66 se observó dentro de los percentiles del nivel I una modificación, de estar por debajo del percentil 3 al percentil 10 (Figura 5).

Se realizó valoración del control motor selectivo de la extremidad inferior de manera inicial, intermedia y final. Los resultados iniciales fueron eversión sin dorsiflexión pura, principalmente movía los dedos de los pies, movimiento más lento que el conteo de tres, con movimiento de otras articulaciones con una suma total

de ambas extremidades de ocho de 20 puntos posibles. En la valoración intermedia obtuvo una total de nueve de 20 puntos. Al finalizar se reportó un aumento a 13 de 20 puntos posibles. Los puntajes obtenidos se detallan en la *Tabla 2*.

En resumen, el puntaje global por extremidad inicialmente fue más bajo en la extremidad inferior derecha que en la izquierda, evaluado con SCALE, la extremidad inferior izquierda incrementó un punto en la escala comparando la medición final contra la inicial, y la extremidad derecha incrementó cuatro puntos.

Una vez concluidas las 10 sesiones de entrenamiento de Lokomat® se consultó la base de datos del equipo y se imprimió un reporte. Se observó que el paciente en la intervención cubrió una distancia total de 3,328 m en un tiempo total de tres horas 34 minutos y 44 segundos. En promedio, con una velocidad de marcha de 0.9 km/h, un soporte de peso corporal de 0% de su peso corporal y una fuerza de guía de 100% (asistencia robótica completa). La distancia media recorrida fue de 303 metros por sesión, con una duración media de 19 minutos 31 segundos por sesión. La información detallada se describe en las *Tablas 3 y 4*, y se representa en la (*Figura 6*).

Los resultados de las mediciones de las escalas L-FORCE reportados por el equipo de entrenamiento de la marcha Lokomat® se describen a continuación:

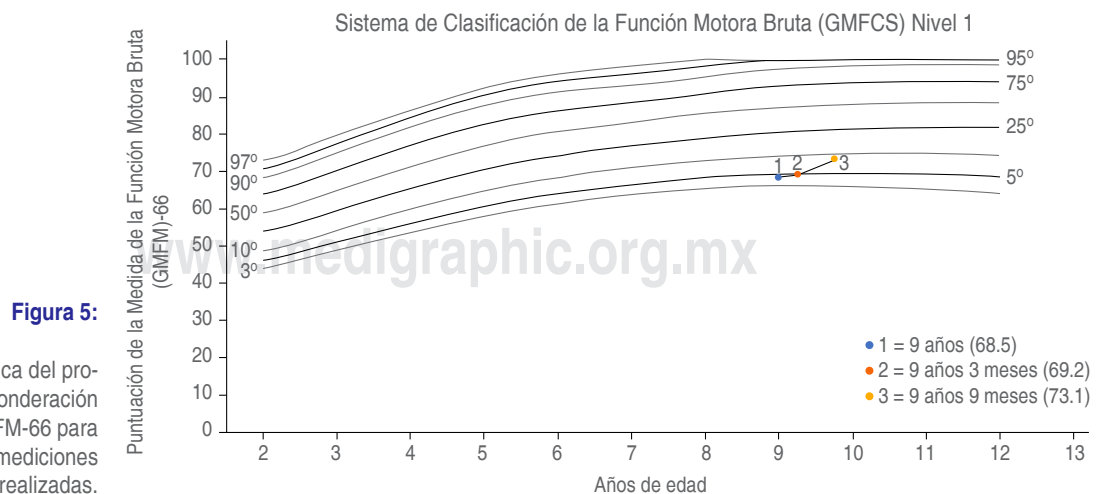
Mediante la valoración de fuerza por medio del dinamómetro se observó mejoría del balance de fuerza isométrica en comparación con el reporte inicial.

Durante las sesiones, aunque el paciente era capaz de seguir indicaciones, se distraía con facilidad, de tal manera que se buscaron diversas estrategias lúdicas para un mejor seguimiento de indicaciones.

En la evaluación global de objetivo al interrogatorio, el paciente y su familia al término de la intervención ya no reportaron caídas al realizar carrera o marcha en exteriores.

## DISCUSIÓN

La combinación del uso de FES con Lokomat® es poco habitual en los tratamientos de rehabilitación física, son escasos los estudios sobre este tema con diferentes objetivos y variables e incluso diferente diagnóstico. Por ejemplo, en el estudio de Dohring ME y colaboradores<sup>10</sup> se presentó un medio para sincronizar automáticamente dos tecnologías prometedoras de entrenamiento de la marcha para abordar los déficits de la marcha en los sobrevivientes de un accidente cerebrovascular: estimulación eléctrica funcional utilizando electrodos intramusculares (FES-IM) y la ortesis robótica de la marcha Lokomat®. Se desarrolló un sistema de hardware y software para lograr la sincronización automática. Se realizó una serie de pruebas para verificar la viabilidad y confiabilidad de la sincronización automática, las cuales mostraron que la sincronización automática de FES-IM con el ciclo de marcha de Lokomat® era factible y confiable. Un análisis de pruebas de estabilización y plantografía en un estudio realizado por Nikityuk IE y su equipo<sup>11</sup> reveló los efectos del entrenamiento locomotor y la estimulación eléctrica funcional (FES) en el control postural que se determinaron en 27 niños de seis a 12 años con parálisis cerebral, clasificación de la función motora gruesa nivel I-III. Se utilizó estímulo monofásico rectangular con duración de pulso de 100  $\mu$ s y una frecuencia de 65 Hz. Se demostró que el FES combinado con el entrenamiento locomotor mejora el control de la postura vertical en niños con PC severa.



**Figura 5:**

Representación gráfica del programa GMAE de la ponderación promedio de la GMFM-66 para nivel I en las tres mediciones realizadas.

**Tabla 2:** Resultados de la evaluación del control motor selectivo de las extremidades inferiores inicial valorado con SCALE.

Extremidad	Articulación	Mediciones		
		Inicial	Intermedia	Final
Izquierda	Cadera	2	2	2
	Rodilla	1	1	2
	Tobillo	1	1	1
	Subastragalina	1	1	1
	Dedos de los pies	1	1	1
	Suma	6	6	7
Derecha	Cadera	1	1	1
	Rodilla	1	1	2
	Tobillo	0	0	1
	Subastragalina	0	0	1
	Dedos de los pies	0	1	1
	Suma	2	3	6
Global		8	9	13

SCALE = *Selective Control Assessment of the Lower Extremity*.

**Tabla 3:** Detalles del entrenamiento reportados en valores medios y desviación estándar comparando la primera contra la última sesión (la diferencia muestra el último menos el primero).

	Media ± DE	Comparativo			
		Inicial	Final	Diferencia	Diferencia [%]
Duración [min: s]	19:31 ± 00:03	07:08	20:03	12:54	180.9
Distancia [m]	303.0 ± 109.0	45.0	376.0	331.0	736.0
Velocidad media [km/h]	0.9 ± 0.2	0.5	1.1	0.6	128.7
Fuerza de guía media [%]	100.0 ± 0.0	100.0	100.0	0.0	0.0

Spaich EG y colaboradores en su estudio en 2014<sup>12</sup> sobre la viabilidad de combinar la ortesis de marcha Lokomat® con estimulación eléctrica funcional incluyó a un paciente de 79 años que sufrió un derrame cerebral, y dos sujetos sanos (edad media: 24.5 años) para proporcionar registros de control de la marcha asistida por Lokomat®, utilizaron frecuencia: 30 Hz, duración del pulso: 300 µs, amplitud: 23 mA. Colocaron cátodo sobre el nervio peroneo cerca de la cabeza del peroné, mientras que el ánodo se colocó en la cara proximal del músculo tibial anterior donde FES inició y terminó a la vez por las señales de salida de Lokomat® por lo que se adaptó automáticamente la duración del tren de estimulación a la velocidad de desplazamiento establecida por Lokomat®. Esta configuración resultó en una respuesta funcional que indujo la dorsiflexión con el tiempo correcto, concluyendo que la combinación demostró funcionar como se esperaba, al igual que en nuestro paciente. Lyons GM y colaboradores

en el año 2002<sup>13</sup> llevaron a cabo una revisión del desarrollo tecnológico de las ortesis neurales para la corrección de la caída del pie por lesiones de motoneurona superior, concluyendo, entre otros puntos, que la colocación de los electrodos de estimulación para lograr el movimiento deseado del tobillo es un aspecto crucial y un problema común cuando se utiliza la FES de superficie en comparación con los sistemas con estimuladores implantados; asimismo que se requiere un seguimiento regular y extenso de estos pacientes para asegurar el uso correcto de estos equipos, punto importante que se debe tomar en cuenta adicional al costo de los mismos. Laursen CB y su equipo en su estudio de 2016<sup>3</sup> con cinco pacientes adultos con diversas lesiones cerebrales adquiridas mostraron aumento significativo en la activación del músculo tibial anterior, mejorando la dorsiflexión durante la oscilación de la marcha, el estímulo fue monofásico rectangular con duración de pulso de 300 µs y una frecuencia de 30 Hz. En nuestro

estudio preferimos la forma de onda bifásica, debido a que el cambio rápido de la polaridad del estímulo se ha reportado que disminuye la irritación de la piel y aumenta la tolerancia al estímulo. En el mismo estudio de Laursen<sup>3</sup> se reportó buena aceptación de la combinación de FES y Lokomat<sup>®</sup> por parte de los terapeutas que participaron en él; sin embargo, la complejidad que añade dicha sincronización de dispositivos al tratamiento puede ser vista como un aspecto negativo para su uso, especialmente en pacientes con gran deterioro motor, aunado a la falta de evidencia que compruebe su efectividad en comparación con otras terapias convencionales. En nuestro paciente se logró el choque de talón y dorsiflexión efectiva hasta después de la quinta sesión del programa de entrenamiento de la marcha. Por otro lado, Behboodi y colaboradores<sup>14</sup> en su reporte de casos publicado en 2019 observaron que la mejoría con el uso de FES en sus pacientes con parálisis cerebral persistió durante el seguimiento, sugiriendo que

dicha intervención puede tener efectos neuroterapéuticos a corto plazo y que esto significa una prometedora utilidad de las intervenciones de entrenamiento de la marcha combinado con FES.

### CONCLUSIONES

En nuestro paciente se reportó una mejoría en funcionalidad, fuerza y control motor con la combinación de tratamientos; sin embargo, debido al alto costo del equipo inalámbrico de FES y la poca disponibilidad de la ortesis robótica en los centros de rehabilitación, esta combinación de tratamientos en el ámbito cotidiano es muy difícil de conseguir. Ésta fue una de las razones principales por la que quisimos documentar el caso. Se requiere mayor número de investigaciones con estos equipos y valorar si el uso de dispositivos más económicos o alámbricos de FES, junto con la reeducación de la marcha en piso o en sistemas de caminadoras, puedan

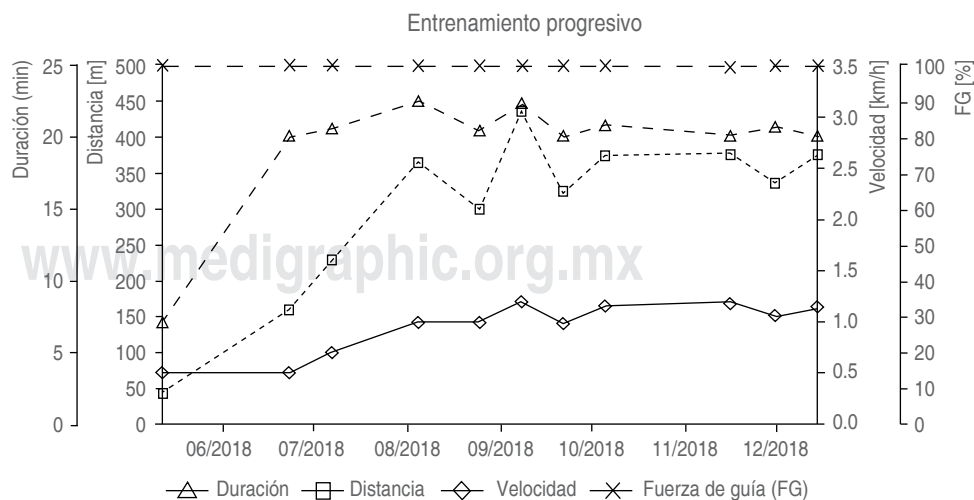
**Tabla 4:** Valores medios y desviación estándar y primera vs. última sesión (la diferencia muestra el último menos el primero).

Articulación	Movimiento		Media [Nm]	Desviación estándar [Nm]	Inicial	Final	Diferencia [Nm]	Diferencia [%]
Cadera	Flexión	Izquierda	+10.73	+4.65	+8.21	+4.37	-3.84	-46.75
		Derecha	+15.04	+4.95	+10.34	+11.66	+1.32	+12.79
	Extensión	Izquierda	+7.42	+1.42	+9.40	+7.42	-1.98	-21.08
		Derecha	+2.63	+2.94	+0.30	+2.51	+2.21	+728.97
Rodilla	Flexión	Izquierda	+8.65	+4.96	+13.59	+7.94	+5.65	-41.57
		Derecha	+5.24	+0.88	+6.27	+5.67	-0.59	-9.43
	Extensión	Izquierda	+7.59	+4.60	+3.67	+13.19	+9.53	+259.70
		Derecha	+10.14	+1.34	+12.24	+9.33	-2.91	-23.76

Nm = Newton/metro.

**Figura 6:**

Representación gráfica de los datos del entrenamiento progresivo según la base de datos del equipo Lokomat<sup>®</sup>.



obtener resultados similares. Además, como se trata de un reporte de caso, no fue posible aislar el peso que tuvo el programa terapéutico basado en control motor y cuál fue la contribución de la estimulación eléctrica, por lo que se requiere profundizar en el análisis al respecto.

#### REFERENCIAS

1. Vindell-Sánchez B, Pérez-Flores E. *Protocolo de rehabilitación postquirúrgica en parálisis cerebral: Experiencia de manejo en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón Baja California Sur*. 2014; 3 (4): 162-167.
2. Druzbecki M, Rusek W, Snela S, Dudek J, Szczepanik M, Zak E et al. Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy. *J Rehabil Med*. 2013; 45 (4): 358-363.
3. Laursen CB, Nielsen JF, Andersen OK, Spaich EG. Feasibility of using Lokomat combined with functional electrical stimulation for the Rehabilitation of Foot Drop. *Eur J Transl Myol*. 2016; 26 (3): 268-273.
4. Popovic DB. Advances in functional electrical stimulation (FES). *J Electromyogr Kinesiol*. 2014; 24 (6): 795-802.
5. Cuerda RC de la, Piédrola RM, Page JC. *Control y aprendizaje motor*. Madrid: Panamericana; 2017. p. 256.
6. Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingstone M, Walter S, Russell D et al. Development of the Gross Motor Function classification system. *Dev Med Child Neurol*. 1997; 39: 214-233. Available from: [www.canchild.ca](http://www.canchild.ca).
7. Fowler EG, Staudt LA, Greenberg MB, Oppenheim WL. Selective control assessment of the lower extremity (SCALE): development, validation, and interrater reliability of a clinical tool for patients with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2009; 51 (8): 607-614.
8. Moll I. Functional electrical stimulation of the ankle dorsiflexors during walking in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2017; 59 (12): 1230-1236.
9. Seifart A, Unger M, Burger M. The effect of lower limb functional electrical stimulation on gait of children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*. 2009; 21 (1): 23-30.
10. Dohring ME, Daly JJ. Automatic synchronization of functional electrical stimulation and robotic assisted treadmill training. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2008; 16 (3): 310-313.
11. Nikityuk IE, Moshonkina TR, Shcherbakova NA, Vissarionov SV, Umnov VV, Rozhdestvenskii VY et al. Effect of locomotor training and functional electrical stimulation on postural function in children with severe cerebral palsy. *Hum Physiol*. 2016; 42 (3): 262-270. Available from: <http://link.springer.com/10.1134/S0362119716030129>.
12. Spaich EG, Mette FB, Erkocevic E, Smidstrup A, Kaeseler AO. Gait orthosis Lokomat combined with functional electrical stimulation for foot drop correction: a feasibility study. *Replace Repair, Restore, ReliBridg Clin Eng Solut Neurorehabilitation*. 2014; 7: 751-757.
13. Lyons GM, Sinkjaer T, Burridge JH, Wilcox DJ. A review of portable fes-based neural orthoses for the correction of drop foot. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2002; 10 (4): 260-279.
14. Behboodi A, Zahradka N, Alesi J, Wright H, Lee SC. Use of a novel functional electrical stimulation gait training system in 2 adolescents with cerebral palsy: a case series exploring neurotherapeutic changes. *Phys Ther*. 2019; 99 (6): 739-747.

Dirección para correspondencia:  
**Dra. Elsa María Ivon Pérez Flores**  
 Av. Golfo de California Núm. 1310,  
 Col. Benito Juárez, 23090,  
 La Paz, Baja California Sur, México.  
 Tel: 01 (61) 2175 0910  
**E-mail:** [dra.elsaperez@outlook.com](mailto:dra.elsaperez@outlook.com)