



FUNDACION H.A.BARCELO
FACULTAD DE MEDICINA

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

TRABAJO FINAL DE INVESTIGACIÓN

**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE FES A PACIENTES HEMIPLEJICOS EN REHABILITACIÓN DE LA
MARCHA: ESTUDIO MÚLTIPLE DE CASOS**

AUTOR/ES: Britto, María Gimena

TUTOR/ES DE CONTENIDO: Lic. Yamauchi, Gabriela

TUTOR/ES METODOLÓGICO: Lic. Ronzio, Oscar

FECHA DE LA ENTREGA: 18-12-2015

CONTACTO DEL AUTOR: gimenabritto@hotmail.com

RESUMEN

Introducción: El accidente cerebro vascular es la principal causa de discapacidad en adultos, una de sus secuelas más importantes es la hemiplejia. La marcha hemipléjica es objeto de estudio en cuanto a su análisis y rehabilitación. El *Functional Electrical Stimulation* (FES) es utilizado para estimular eléctricamente a los músculos encargados de la flexión dorsal del tobillo durante la fase de balanceo de la marcha para corregir la caída del pie en pacientes hemipléjicos (1-4).

Propósito: El objetivo de este trabajo fue aportar datos sobre los efectos de la aplicación de *functional electrical stimulation* (FES) a pacientes hemipléjicos en rehabilitación de la marcha y su evaluación.

Material y métodos: Estudio de casos múltiples de tipo transversal, en pacientes con hemiplejia como secuela de ACV. Se realizó en el Servicio de Rehabilitación del Hospital Militar Central. El estudio incluyó una evaluación inicial de la marcha sin estimulación y una evaluación de la marcha durante la aplicación del FES (FLEXICAR). Se utilizó el *software* Kinovea 0.8.15 como método de evaluación.

Resultados: Comparando el ángulo de flexión dorsal del miembro parético sin FES (FD sinFES= $2^{\circ}+-2^{\circ}$), el ángulo de flexión dorsal aumentó durante la aplicación de FES (FD conFES= $12^{\circ}+-5^{\circ}$). La velocidad de la marcha también resultó mayor con FES (VM conFES= $0.34\text{m/s}+-0.27\text{m/s}$) que sin FES (VM sinFES= $0.28\text{m/s}+-0.21\text{m/s}$).

Discusión y Conclusión: La aplicación de FES sobre el nervio peróneo en pacientes hemipléjicos produce un aumento del ángulo de flexión dorsal del pie y un incremento en la velocidad de la marcha brindando una mayor funcionalidad. Para obtener resultados más significativos, sería conveniente considerar la posibilidad de realizar un seguimiento del tratamiento con FES a pacientes hemipléjicos.

Implicancias: La aplicación de FES tiene efectos positivos e inmediatos en el proceso de rehabilitación de la marcha asociados a una mejor funcionalidad y calidad de vida del paciente.

Aprobación de comité de ética: Este trabajo cuenta con la aprobación del Comité Institucional de Revisión de Ensayos Clínicos del Hospital Militar Central, expediente 3H152151/5.

Palabras Clave: hemiplejia – marcha – fenómenos biomecánicos – medicina física y rehabilitación - rehabilitación

ABSTRACT

Introduction: Stroke is the main cause of disability in adults; one of its most important effects is hemiplegia. Hemiplegic gait is object of study in their analysis and rehabilitation. Functional Electrical Stimulation (FES) is used to stimulate dorsiflexor ankle muscles during the swing phase of gait, to improve foot drop in hemiplegic patients.

Purpose: The objective of this study was to provide data about Functional Electrical Stimulation applications effects on hemiplegic patients in gait rehabilitation and evaluation.

Material and methods: Transversal multiple cases study in patients with hemiplegia as a stroke aftermath. It was carried out at the Militar Central Hospital Rehabilitation Service. Treatment included: gaits initial assessment without stimulation and evaluation during the FES (FLEXICAR) application. Software Kinovea 0.8.15 was used as evaluations method.

Results: Comparing dorsiflexion angle on paretic limb without FES (FD noFES=2°+-2°), dorsiflexion angle increased during FES application (FD FES=12°+-5°). Gait speed was also improved with FES (VM FES=0.34m/s+-0.27m/s) than without FES (VM noFES=0.28m/s+-0.21m/s).

Discussion and conclusion: FES application on peroneal nerve in hemiplegic patients increased foot dorsiflexion angle and speed gait providing more functionality. For more meaningful results, it would be appropriate to consider follow up treatment with FES to hemiplegic patients.

Keywords: hemiplegia – gait – biomechanical phenomena - physical and rehabilitation medicine - rehabilitation

INTRODUCCIÓN

La marcha se define como “el paso bípedo que utiliza la raza humana para desplazarse de un lugar a otro con bajo esfuerzo y un mínimo consumo energético”. Esta capacidad puede verse afectada por la presencia de lesiones en distintos sistemas u órganos. Las principales afecciones que alteran el patrón de marcha normal resultan de traumatismos encéfalo craneanos, traumatismos raquimedulares, esclerosis múltiple, Parkinson y accidentes cerebro vasculares (1).

El accidente cerebro vascular (ACV) es la segunda causa de muerte a nivel mundial y la principal causa de discapacidad en adultos. Algunas de las secuelas en los sobrevivientes al ACV son los déficits o alteraciones neurológicas como los trastornos en la comunicación, déficits cognitivos, trastornos viso espaciales y, uno de los impedimentos más frecuentes, la hemiparesia. Todos estos tienen un impacto importante en la calidad de vida del paciente y en sus actividades de la vida diaria (2, 3).

La marcha hemipléjica es objeto de estudio en cuanto a su análisis y rehabilitación, ya que su recuperación en pacientes con ACV es un objetivo importante (2).

Existen muchos métodos para la evaluación de la marcha, entre ellos, la electromiografía, la medición de consumo de oxígenos y la baropodometría. Actualmente, el más utilizado es el análisis cinemático de la marcha ya que, al ser cuantitativo, permite definir y describir la posición y los movimientos de las articulaciones como así también segmentos corporales que se están observando (4).

La descripción de la marcha se realiza considerando distintos parámetros: témporo espaciales, cinéticos y cinemáticos (1). Dentro de los témporo espaciales se tienen en cuenta la longitud de la zancada, la longitud del paso, el ángulo del paso y la velocidad (1). El análisis cinemático cuenta con una gran variedad de herramientas como la dinamometría, la acelerometría, el ultrasonido, la goniometría digital y la videometría que facilitan la evaluación de la marcha (1, 5). La videometría es un sistema de análisis de movimiento con el cual se toman imágenes utilizando una cámara colocada paralela al plano que se desea observar. Previo a la toma de las imágenes se colocarán, a partir de una correcta inspección, palpación y reconocimiento de estructuras, marcadores sobre los distintos segmentos corporales que se desean evaluar. La secuencia de imágenes será analizada con el *software* Kinovea 0.8.15 que, a través de la identificación de estos marcadores, permitirá definir los parámetros témporo espaciales y determinar los ángulos de las articulaciones y la velocidad durante la marcha (1, 5, 6).

Las personas con hemiparesia a menudo muestran alteraciones en la biomecánica de la marcha. Las que se observan con mayor frecuencia en la fase de Apoyo de la marcha son: la disminución de la extensión de la cadera, disminución o aumento de la lateralidad de la pelvis, hiperextensión de rodilla, aumento en la flexión de rodilla y disminución en la flexión plantar en el despegue de los dedos. Mientras que en la fase de Balanceo, las que se observan son: disminución de la flexión de cadera, disminución de la flexión de rodilla, disminución en la extensión de rodilla previa al choque de talón y disminución de la dorsiflexión de tobillo (7-9).

La caída del pie es causada por la paresia total o parcial de los músculos dorsiflexores del pie. Durante la fase de balanceo, la falta de flexión dorsal del tobillo genera un alargamiento del miembro inferior por lo que, a menos que se hagan compensaciones, el pie golpea contra el suelo; mientras la cadera se flexiona y se extiende la rodilla. Esto

contribuye a un patrón de marcha asimétrico durante el cual el primer dedo y el borde externo del pie rozan el piso. Para compensar este aumento de longitud del miembro, el paciente puede aumentar la abducción de cadera en la extremidad afectada con la elevación simultánea de la hemipelvis del lado de la pierna oscilante, o inclinar lateralmente el tronco hacia el lado no afectado. Estas compensaciones llevan a un mayor gasto de energía durante la marcha, disminución de la resistencia y mayor incidencia a padecer caídas (7, 9, 10).

El *Functional Electrical Stimulation* (FES) es utilizado para estimular eléctricamente a los músculos encargados de la flexión dorsal del tobillo durante la fase de balanceo de la marcha para corregir la caída del pie en pacientes hemipléjicos (11, 12).

El FES consiste en la utilización de corrientes eléctricas para la estimulación de nervios periféricos encargados de la inervación de músculos paralizados en patologías de motoneurona superior. Su aplicación se realiza a través de impulsos eléctricos directamente sobre los nervios periféricos o puntos motores y no sobre las fibras musculares, característica que lo diferencia de otras formas de estimulación eléctrica. Este tipo de estimulación permite establecer una secuencia y magnitud específica a partir de las cuales se pretende generar movimientos que imiten a los movimientos voluntarios normales favoreciendo, además, a la reeducación del musculo (10, 13, 14).

La aplicación de FES sobre el nervio peróneo sería capaz de favorecer la dorsiflexión y eversión del tobillo parético, además de promover el desarrollo de fuerza, prevenir la atrofia muscular por desuso y disminuir el tono muscular (10, 13). Todo esto contribuiría a aumentar la velocidad del paso, mejorar la locomoción y disminuir la incidencia de caídas (15).

El objetivo de este trabajo fue aportar datos sobre los efectos de la aplicación de FES en pacientes hemipléjicos, en rehabilitación de la marcha y su evaluación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo, diseño y características del estudio:

Se realizó un estudio de casos múltiples de tipo transversal.

Población y muestra:

La población de estudio fueron pacientes de sexo femenino y masculino que asistían al Servicio de Rehabilitación del Hospital Militar Central, ubicado en la calle Luis María Campos 726 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

La toma de datos se realizó entre los meses Agosto y Septiembre del año 2015.

Tamaño de la muestra:

El trabajo consistió en la observación y aplicación del tratamiento a cuatro pacientes, 3 hombres y 1 mujer, con hemiplejia posterior a un ACV (10-12). Esta muestra se obtuvo en base a los criterios de inclusión y exclusión.

Tipo de muestreo:

El tipo de muestreo fue estratificado, aleatorio.(16)

Criterios de inclusión:

Tres meses de evolución desde que se produjo el ACV, pacientes entre 48 y 78 años de edad, capacidad de marcha independiente, suficiente flexión dorsal pasiva de tobillo para permitir que la articulación alcance la posición neutra (10-12, 16, 17).

Criterios de exclusión:

Pacientes que se nieguen a dar el consentimiento informado, pacientes con déficit cognitivo, heminegligencia severa, incapacidad para comunicarse, presencia de lesiones cutáneas sobre los puntos de estimulación, presencia de arteriopatía periférica, pacientes con hipertensión arterial (10-12, 16).

Criterios de eliminación:

Evaluación incompleta durante el período de toma de datos. Falta de tolerancia a la estimulación. Incapacidad de alcanzar la posición neutra de tobillo en forma pasiva. Reacción alérgica a la aplicación del FES. (17, 18)

Aspectos éticos:

El presente proyecto fue evaluado por el Comité Institucional de Revisión de Ensayos Clínicos del Hospital Militar Central.

Se le entregó a los participantes un documento escrito titulado “Carta de información y consentimiento escrito de participación del voluntario” y un “Consentimiento informado” explicando los objetivos y propósitos del estudio, los procedimientos experimentales, cualquier riesgo conocido a corto o largo plazo, posibles molestias; beneficios de los procedimientos aplicados; duración del estudio; la suspensión del estudio cuando se encuentren efectos negativos o suficiente evidencia de efectos positivos que no justifiquen continuar con el estudio y, la libertad que tienen los sujetos de retirarse del estudio en cualquier momento que deseen. En ese documento también se indicó cómo será mantenida la confidencialidad de la información de los participantes en el estudio ante una eventual presentación de los resultados en eventos científicos y/o publicaciones. En caso de aceptación el sujeto firmará dicho documento.

Procedimiento/s

Instrumento(s)/Materiales:

Para la aplicación del FES se utilizó el equipo *FES Stimulator* (FLEXICAR), cables, electrodos y un sensor de marcha. Para la recolección de datos se utilizaron una cinta métrica, cinta adhesiva, cámara filmadora JVC EVERIO S modelo GZ-MS 150SU que tomará imágenes en formato .mp4. Los datos fueron volcados en una computadora *MSI Notebook* que cuenta con el *software* Kinovea 0.8.15 que facilitó la observación y evaluación de los parámetros a analizar durante la marcha (1, 6). El programa utilizado para el análisis de dicha base de datos fue Microsoft Excel.

Método:

La evaluación y la aplicación del tratamiento estuvieron a cargo de la Licenciada en Kinesiología y Fisiatría Gabriela Yamauchi a pacientes que cumplieron con los criterios de selección en el Servicio de Rehabilitación del Hospital Militar Central, quienes firmaron el correspondiente consentimiento informado.

Se realizó la evaluación inicial de cada paciente, donde se midió el ángulo de flexión dorsal pasiva del tobillo hemipléjico y se les solicitó que caminaran una distancia de seis metros sobre una superficie plana (10-12).

Para analizar la cinemática de la marcha se adjuntaron marcadores sobre puntos de referencia anatómicos específicos basados en la técnica *calibrated anatomical system technique* (CAST). Estos son: espina iliaca anterosuperior, espina ilíaca posterosuperior, trocánter mayor, epicóndilo medial y lateral del fémur, cabeza del primer metatarsiano y cabeza del quinto metatarsiano (5, 19). Una vez marcados, se filmó a cada paciente caminando con una cámara colocada paralela al plano que se desea observar (1). La secuencia tomada fue analizada con el *software* Kinovea 0.8.15 el cual permitió a partir de los puntos de referencia, mediante el trazado de líneas y mediciones cuantificar los siguientes parámetros: ángulo de flexión dorsal del tobillo y velocidad de la marcha (1, 4, 10, 11).

Esto otorgó un método objetivo de evaluación de la marcha de los pacientes, antes y durante el tratamiento.

Luego, se preparó al paciente para la aplicación de FES (12). La misma se realizó con el paciente sentado con sus pies colgando. Se colocaron los electrodos sobre los músculos flexores del tobillo del miembro afectado, en la zona donde el estímulo genere la máxima flexión dorsal (punto motor) (10). Se comenzó con la estimulación eléctrica hasta que se obtuvo la contracción muscular. Una vez obtenida, se determinó la intensidad de acuerdo a la tolerancia de cada paciente (11).

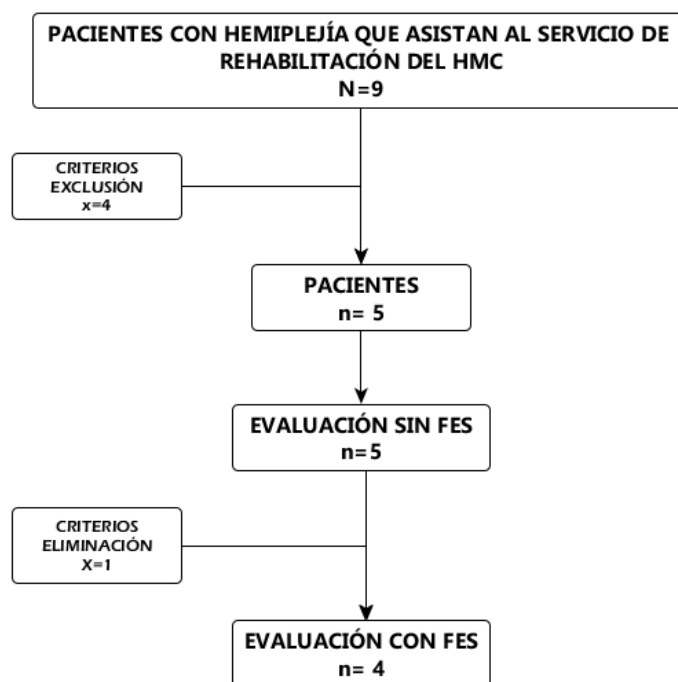
Se equipó también al paciente con un sensor de marcha. El mismo consiste en una plantilla de compresión que se colocó dentro del zapato del miembro afectado, en contacto con el talón. La función de este sensor fue controlar el momento en el que se entregó la estimulación (10, 11). El FES estimuló la flexión dorsal del pie desde el momento en el que fue sentido el despegue del talón (fase de oscilación) hasta que el talón tomó contacto con el piso, donde cesó la estimulación (10-12, 15).

Una vez equipado con los marcadores sobre los puntos de referencia anatómicos específicos, los electrodos de FES colocados sobre los músculos dorsiflexores del pie y el sensor de marcha dentro del zapato en contacto con el talón, se solicitó al paciente que caminara los mismos seis metros sobre la superficie plana con la estimulación del FES en la flexión dorsal del tobillo (10-12, 19).

La aplicación de FES consistió en 3 pruebas de 30 segundos de estimulación, y 5 minutos de descanso entre cada prueba para evitar la fatiga (10, 12, 20). Los parámetros que se utilizaron en cada aplicación fueron: una frecuencia de 50 Hz (Hertz), una rampa de subida de 0,2 milisegundos (ms), un ancho de pulso de 0,2 ms y una rampa de bajada de 0,3 ms (16-18, 21).

La intensidad de la estimulación fue la necesaria para lograr la flexión dorsal del pie y se graduó de acuerdo a la tolerancia del paciente para evitar su incomodidad, dolor e irritaciones en la piel (11, 21).

El estudio consistió en una sola sesión por paciente, durante la cual se evaluó y se tomaron registros de la marcha del paciente con y sin la aplicación de FES (10).



Tratamiento estadístico de los datos:

Los datos obtenidos de las evaluaciones realizadas con el *software* Kinovea de cada paciente fueron volcados al Microsoft Excel, el cual permitió comparar las variables y con el que se realizaron tablas y gráficos. Para describir a las variables cuantitativas se calculó el promedio, desvío estándar, mínimo y máximo.

RESULTADOS

De los 9 pacientes que participaron del estudio, solo 5 cumplieron con los criterios de inclusión y los datos de uno de los pacientes fueron eliminados por no lograr la posición neutra de tobillo durante la marcha, quedando un total de 4 pacientes.

La Tabla 1 resume los datos obtenidos de la medición del ángulo de flexión dorsal y velocidad de la marcha, antes y durante la aplicación de FES.

Tabla 1

N	FD sin FES (º)	FD con FES (º)	VEL sin FES (m/s)	VEL con FES (m/s)
1	1	9	0,14	0,20
2	2	7	0,14	0,37
3	5	19	0,52	0,65
4	1	12	0,15	0,16
MEDIA	2	12	0,24	0,34
DESV. EST	2	5	0,19	0,22
MAX	5	19	0,52	0,65
MIN	1	7	0,14	0,16

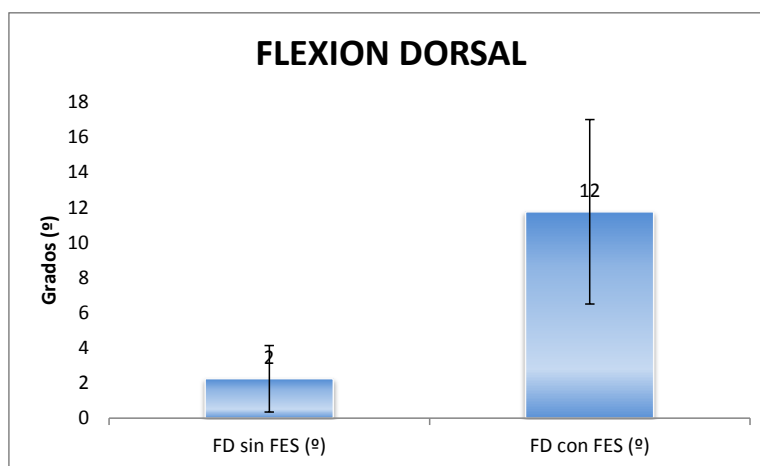
Pudo observarse que el ángulo de flexión dorsal aumentó de 2° (grados) en la evaluación sin FES, a 12° en la evaluación con FES.

En cuanto a la velocidad de la marcha también hubo un aumento. Se obtuvo una velocidad de 0.24 metros por segundo (m/s) durante la evaluación sin FES y una velocidad de 0.34 m/s durante la evaluación con FES.

El análisis cuantitativo de las variables, en base a la Tabla 2, demostró que durante la aplicación de FES hubo una mejoría en la cinemática de la marcha dada por el aumento del ángulo de flexión dorsal (Gráfico 1) y por el aumento de la velocidad de la marcha (Gráfico 2), en comparación a la evaluación sin FES.

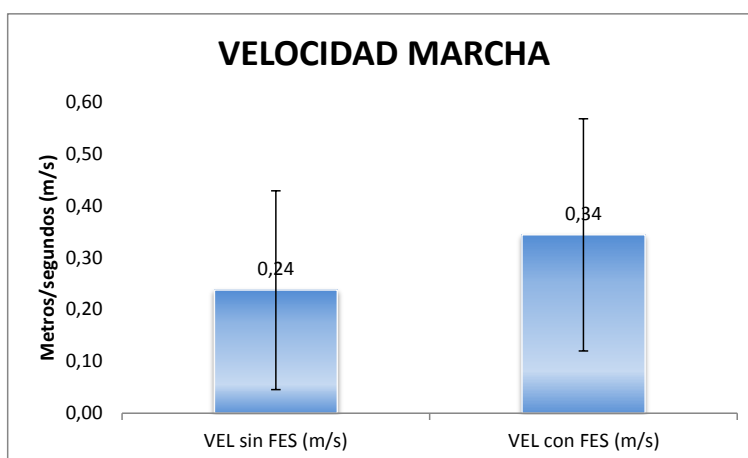
El Gráfico 1 muestra la flexión dorsal promedio, antes y durante la aplicación de FES, y sus respectivos Desvíos Estándar.

Gráfico 1



El Gráfico 2 muestra la velocidad de marcha promedio, antes y durante la aplicación de FES, y sus respectivos Desvíos Estándar.

Gráfico 2



No hubo eventos adversos informados durante las evaluaciones.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Las principales causas de disfunción de la marcha en pacientes hemipléjicos son las alteraciones biomecánicas y, entre ellas, la disminución del ángulo de flexión dorsal del tobillo. Los pacientes hemipléjicos tienden a emplear distintas compensaciones, como elevar la hemipelvis o la abducción de cadera, para evitar el arrastre del pie durante la marcha. Si estas compensaciones no son suficientes, la falta de flexión dorsal interrumpe el andar del paciente hemipléjico, repercutiendo negativamente sobre la velocidad, resistencia y equilibrio con mayor predisposición a tropezar o sufrir caídas (11, 22). Se considera que FES aplicado sobre el nervio peróneo, puede ser beneficioso para mejorar la biomecánica de la marcha en este tipo de pacientes (15).

Los resultados de este estudio muestran que la aplicación de FES sobre el nervio peróneo durante la marcha, produce por un lado el aumento del ángulo de flexión dorsal que permite una marcha más simétrica, reduciendo los riesgos de tropezar y caer; y por otro, el incremento de la velocidad de la marcha. Aunque los incrementos en ambas variables son pequeños, son suficientes para detectar cambios clínicos (23-25).

Distintos autores mencionan que se observaron resultados más significativos con la aplicación de FES a largo plazo (15, 24, 26, 27). Por este motivo, para la realización de futuros trabajos de investigación, sería conveniente considerar la posibilidad de realizar un seguimiento del tratamiento con FES a pacientes hemipléjicos. A pesar de que el número de pacientes que participaron del estudio no ha sido significativo, se logró demostrar que la aplicación de FES sobre el nervio peróneo aumenta el ángulo de flexión dorsal del tobillo y estimula también a la eversión del pie, dándole mayor estabilidad al apoyo plantar, y aumentando la velocidad al caminar. La aplicación de FES tiene efectos positivos e inmediatos en el proceso de rehabilitación de la marcha asociados a una mejor funcionalidad y calidad de vida del paciente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mendoza AIA, Santamaria TJB, Urrego VG, Restrepo JPR, García MCZ. Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. (Gait: description, methods, assessment tools and normality parameters reported in the literature). Revista CES Movimiento y Salud. 2013;1(1):29-43.
2. Belda-Lois JM, Mena-del Horno S, Bermejo-Bosch I, Moreno JC, Pons JL, Farina D, et al. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2011;8:66.
3. Mwita CC, Kajia D, Gwer S, Etyang A, Newton CR. Accuracy of clinical stroke scores for distinguishing stroke subtypes in resource poor settings: A systematic review of diagnostic test accuracy. Journal of neurosciences in rural practice. 2014;5(4):330-9.
4. Lofterod B, Terjesen T, Skaaret I. Gait analysis: a new diagnostic tool. Tidsskrift for den Norske laegeforening : tidsskrift for praktisk medicin, ny række. 2005;125(15):2014-6.
5. Baker R. Gait analysis methods in rehabilitation. Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2006;3:4.

6. Padulo J, Vando S, Chamari K, Chaouachi A, Bagnò D, Pizzolato F. Validity of the MarkWiiR for kinematic analysis during walking and running gaits. *Biology of sport*. 2015;32(1):53-8.
7. Lindquist AR, Prado CL, Barros RM, Mattioli R, da Costa PH, Salvini TF. Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation: effects on poststroke gait. *Physical therapy*. 2007;87(9):1144-54.
8. Moseley A, Wales A, Herbert R, Schurr K, Moore S. Observation and analysis of hemiplegic gait: stance phase. *The Australian journal of physiotherapy*. 1993;39(4):259-67.
9. Moore S, Schurr K, Wales A, Moseley A, Herbert R. Observation and analysis of hemiplegic gait: swing phase. *The Australian journal of physiotherapy*. 1993;39(4):271-8.
10. Kesar TM, Perumal R, Jancosko A, Reisman DS, Rudolph KS, Higginson JS, et al. Novel patterns of functional electrical stimulation have an immediate effect on dorsiflexor muscle function during gait for people poststroke. *Physical therapy*. 2010;90(1):55-66.
11. Lee YH, Yong SY, Kim SH, Kim JH, Shinn JM, Kim Y, et al. Functional electrical stimulation to ankle dorsiflexor and plantarflexor using single foot switch in patients with hemiplegia from hemorrhagic stroke. *Annals of rehabilitation medicine*. 2014;38(3):310-6.
12. Kesar TM, Perumal R, Reisman DS, Jancosko A, Rudolph KS, Higginson JS, et al. Functional electrical stimulation of ankle plantarflexor and dorsiflexor muscles: effects on poststroke gait. *Stroke; a journal of cerebral circulation*. 2009;40(12):3821-7.
13. Prado-Medeiros CL, Sousa CO, Souza AS, Soares MR, Barela AM, Salvini TF. Effects of the addition of functional electrical stimulation to ground level gait training with body weight support after chronic stroke. *Revista brasileira de fisioterapia*. 2011;15(6):436-44.
14. Vafadar AK, Cote JN, Archambault PS. Effectiveness of functional electrical stimulation in improving clinical outcomes in the upper arm following stroke: a systematic review and meta-analysis. *BioMed research international*. 2015;2015:729768.
15. Springer S, Vatine JJ, Lipson R, Wolf A, Laufer Y. Effects of dual-channel functional electrical stimulation on gait performance in patients with hemiparesis. *TheScientificWorldJournal*. 2012;2012:530906.
16. Tan Z, Liu H, Yan T, Jin D, He X, Zheng X, et al. The effectiveness of functional electrical stimulation based on a normal gait pattern on subjects with early stroke: a randomized controlled trial. *BioMed research international*. 2014;2014:545408.
17. Chung E, Park SI, Jang YY, Lee BH. Effects of brain-computer interface-based functional electrical stimulation on balance and gait function in patients with stroke: preliminary results. *Journal of physical therapy science*. 2015;27(2):513-6.
18. Lee SY, Kang SY, Im SH, Kim BR, Kim SM, Yoon HM, et al. The effects of assisted ergometer training with a functional electrical stimulation on exercise capacity and functional ability in subacute stroke patients. *Annals of rehabilitation medicine*. 2013;37(5):619-27.
19. Sinclair J, Taylor PJ, Greenhalgh A, Edmundson CJ, Brooks D, Hobbs SJ. The test-retest reliability of anatomical co-ordinate axes definition for the quantification of lower extremity kinematics during running. *Journal of human kinetics*. 2012;35:15-25.

20. Awad LN, Kesar TM, Reisman D, Binder-Macleod SA. Effects of repeated treadmill testing and electrical stimulation on post-stroke gait kinematics. *Gait & posture*. 2013;37(1):67-71.
21. Quandt F, Hummel FC. The influence of functional electrical stimulation on hand motor recovery in stroke patients: a review. *Experimental & translational stroke medicine*. 2014;6:9.
22. Hakansson NA, Kesar T, Reisman D, Binder-Macleod S, Higginson JS. Effects of fast functional electrical stimulation gait training on mechanical recovery in poststroke gait. *Artificial organs*. 2011;35(3):217-20.
23. Mayer L, Warring T, Agrella S, Rogers HL, Fox EJ. Effects of functional electrical stimulation on gait function and quality of life for people with multiple sclerosis taking dalfampridine. *International journal of MS care*. 2015;17(1):35-41.
24. van der Linden ML, Hooper JE, Cowan P, Weller BB, Mercer TH. Habitual functional electrical stimulation therapy improves gait kinematics and walking performance, but not patient-reported functional outcomes, of people with multiple sclerosis who present with foot-drop. *PloS one*. 2014;9(8):e103368.
25. Springer S, Laufer Y, Becher M, Vatine JJ. Dual-channel functional electrical stimulation improvements in speed-based gait classifications. *Clinical interventions in aging*. 2013;8:271-7.
26. Scott SM, van der Linden ML, Hooper JE, Cowan P, Mercer TH. Quantification of gait kinematics and walking ability of people with multiple sclerosis who are new users of functional electrical stimulation. *Journal of rehabilitation medicine*. 2013;45(4):364-9.
27. Embrey DG, Holtz SL, Alon G, Brandsma BA, McCoy SW. Functional electrical stimulation to dorsiflexors and plantar flexors during gait to improve walking in adults with chronic hemiplegia. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2010;91(5):687-96.