



**INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL**

ESCUELA SUPERIOR DE MEDICINA



**SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN**

**Electroestimulación en el tratamiento de pacientes
pediátricos con pie equino varo aducto congénito
postoperados. Estudio piloto**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
CIENCIAS DE LA SALUD
Área Investigación Clínica**

PRESENTA:

MARÍA GUADALUPE MORALES OSORIO

Director de Tesis: **Dr. Joel Lomelí González**

Dra. María de la Luz Arenas Sordo

Diciembre del 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 28 del mes de Octubre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESM para examinar la tesis titulada:

“Electroestimulación en el tratamiento de pacientes pediátricos con pie equino varo aducto congénito postoperados. Estudio piloto”

Presentada por el alumno:

Morales

Apellido paterno

Osorio

Apellido materno

María Guadalupe

Nombre(s)

Con registro:

A	1	0	0	8	2	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias de la Salud

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

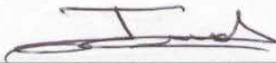
LA COMISIÓN REVISORA

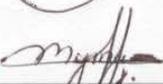
Directores de tesis


 Dr. Joel Lomén González


 Dra. María de la Luz Arenas Sordo


 Dr. Juan Gerardo Reyes García

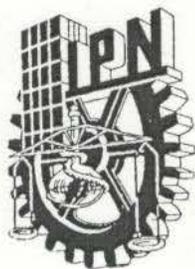

 Dr. Juan Rodríguez Silverio


 Dra. Myrna Deciga Campos

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


 Dr. Eleazar Lara Padilla





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **México** el día **05** del mes **Octubre** del año **2011**, el que suscribe **María Guadalupe Morales Osorio** alumna del Programa de **Maestría en Ciencias de la Salud** con número de registro **A100825** adscrito a **La Escuela Superior De Medicina**, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Joel Lomeli González y la Dra. María de la Luz Arenas Sordo** y cede los derechos del trabajo intitulado **“Electroestimulación en el tratamiento de pacientes pediátricos con pie equino varo aducto congénito postoperados. Estudio piloto”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico **gmoraleso@yahoo.com.mx**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

María Guadalupe Morales Osorio

Nombre y Firma

Mas a DIOS gracias, el cual nos lleva siempre en triunfo en CRISTO JESÚS, y por medio de nosotros manifiesta en todo lugar el olor de su conocimiento.

- 2ª Corintios 2:14

A mi DIOS creador de los cielos, y el que los despliega; el que extiende la tierra y sus productos; el que da aliento al pueblo que mora sobre ella. Gracias.

Isaías 42:5 b

Gracias a mi Madre porque su Amor y dedicación están conmigo siempre.

Este trabajo fue realizado en el Instituto Nacional de Rehabilitación en la División de Rehabilitación Pediátrica y en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional bajo la Dirección de los Doctores María de la Luz Arenas Sordo y Joel Lomelí González

ÍNDICE

GLOSARIO	8
RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	15
2. ANTECEDENTES	17
3. JUSTIFICACIÓN	23
4. HIPÓTESIS	24
5. OBJETIVOS	25
5.1. OBJETIVO GENERAL:	25
5.2. OBJETIVOS PARTICULARES:.....	25
6. MATERIAL Y MÉTODOS	26
6.1. Tipo de Estudio.	26
6.2. Ubicación Temporal y Espacial.	26
6.3. Criterios de Selección de la Muestra.....	26
6.4. Variables.	28
6.4.1 Variables Independientes.....	28
6.4.2 Variables Dependientes.	29
6.5. Tamaño de la Muestra.	29
6.6. Análisis Estadístico.	29
6.7. Descripción Operativa del Estudio.	30
7. RESULTADOS	35
8. DISCUSIÓN	40
8.1 DESCRIPCIÓN DE ESTA TÉCNICA EN OTRAS PATOLOGÍAS Y EL USO DE OTRAS TÉCNICAS DE ELECTROESTIMULACIÓN	41
8.2 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN ESTE ESTUDIO.....	42
8.3 EFECTO SELECTIVO DE LA EENM SOBRE LOS DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES ESQUELÉTICAS.....	42
8.4 IMPLICACIÓN CLÍNICA.....	43
9. CONCLUSIONES.....	44
10. PERSPECTIVAS	45
11. BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXO 1.....	50
ANEXO 2.....	51
ANEXO 3.....	52

GLOSARIO

Duración del impulso: Cuanto menor sea la duración del impulso mayor será la intensidad que tenemos que emplear para producir una contracción umbral. Por eso es importante conocer el término de cronaxia que se define como el valor de la duración de un impulso rectangular capaz de producir una contracción umbral, cuando utilizamos una intensidad al doble de la reobase. Las intensidades y las duraciones se registran en un sistema de coordenadas conformando una curva a manera de hipérbola equilátera, que se denomina curva intensidad- tiempo.

Frecuencia del impulso: Es el número de veces que se repite el impulso por cada segundo. Esta frecuencia se mide en hercios (Hz). Este es un parámetro que se puede utilizar en dependencia del tipo de fibra muscular que se quiere estimular, se trataría de estimular a la fibra muscular con frecuencias similares a las propias de la fisiología muscular.

Intensidad: Si estimulamos un músculo o un nervio partiendo de una intensidad cero, los primeros estímulos no provocan contracción muscular, subiendo la intensidad, llega un momento en el que el músculo comienza a contraerse; a este estímulo se le denomina estímulo umbral. Este umbral de excitación marca el límite entre una intensidad eficaz e ineficaz, aumentando la intensidad del estímulo, la contracción se hará cada vez más evidente hasta que llega un momento en el que la amplitud de la contracción deja de aumentar y permanece estable, llegando al estímulo supramáximo.

Pendiente del impulso: Consiste en la rapidez con la que la corriente alcanza su máxima intensidad. Se plantea que si la corriente se va estableciendo progresivamente no se produce la contracción muscular, a menos que elevemos la intensidad. Es decir si la pendiente es muy larga tendremos que emplear intensidades altas para producir la contracción. a este fenómeno se le llamó acomodación.

Punto motor. Zonas para la óptima estimulación de músculos esqueléticos por lo general ubicados en el área donde el nervio motor penetra el epimisio. Tiene mayor número de canales de sodio.

Reobase: Es la intensidad que alcanza el umbral de la excitación por un paso de corriente que empieza bruscamente e indefinidamente prolongado. En otros términos, es “la corriente más débil de comienzo brusco capaz de excitar” (Lapicque).

RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

Tabla I: Operacionalización de Variables Independientes.....	29
Tabla II Operacionalización de Variables Dependientes.....	30
Tabla III Valoración mediante EMGS	33
Tabla IV Distribución de la población por edad, género y lado afectado del pie.	35
Tabla V Análisis de varianza univariante entre las medias del grupo control histórico y el de electroestimulación de la valoración de la escala de Daniels..	37
Tabla VI Cambios en la amplitud de los PAUMs en la EMGS posterior a la electroestimulación.....	39
Figura 1. Flujograma del grupo de estudio con electroestimulación neuromuscular.....	31
Figura 2 Colocación de electrodos de superficie para la realización de EMGS.	33
Figura 3 Valoración de la fuerza muscular de los músculos peroneos sin resistencia.....	33
Figura 4 Trazo de la actividad registrada mediante los electrodos de superficie en la EMGS	34
Figura 5 Comparación de la fuerza de los músculos peroneos entre los grupos de estudio.....	36
Figura 6 Comparación por EMGS de los músculos peroneos del grupo con electroestimulación pre y post-tratamiento	38

RESUMEN

El Pie Equino Varo Aducto Congénito (PEVAC) idiopático es una deformidad de difícil corrección que tiene varios componentes: equino, varo, aducto, cavo del pie y torsión tibial interna. El tratamiento puede ser conservador y/o quirúrgico con la finalidad de eliminar estas deformidades y obtener un pie móvil sin dolor que le permita al paciente realizar una adecuada marcha. Debido a ello, el paciente puede permanecer inmovilizado por largos periodos, lo cual favorece un desbalance muscular entre los músculos invertores y evertores; por lo que una intervención dinámica con electroestimulación sobre los músculos evertores como los peroneos puede ayudar a mejorar el equilibrio entre estos músculos. **Objetivo general:** Valorar si la electroestimulación neuromuscular es útil para mejorar la fuerza de los músculos peroneos en los niños postoperados por PEVAC. **Material y métodos:** Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, descriptivo y comparativo. Se seleccionaron para el grupo experimental 10 pies con PEVAC y 10 pies de controles históricos. Se realizaron valoraciones clínicas iniciales y finales a ambos, y valoraciones por electromiografía de superficie (EMGS) al grupo experimental; el cual recibió 30 sesiones de tratamiento con estimulación eléctrica neuromuscular para obtener contracción muscular. **Resultados:** En ambos grupos predominó el sexo masculino, la edad promedio fue de 5.5 años (Rango 3 a 8). La fuerza muscular de los peroneos, evaluada mediante la escala de Daniels, incrementó en el postratamiento solo en el grupo experimental y comparándolo con el grupo control histórico se obtuvo una $p = 0.001$. Se incrementó la amplitud de los potenciales de unidad motora en el EMGS en el

grupo experimental con una $p < 0.05$. **Conclusiones:** La electroestimulación neuromuscular posterior a 30 sesiones demostró un incremento en la fuerza de los músculos peroneos comparado con los pacientes que recibieron solo terapia convencional sin electroestimulación.

ABSTRACT

Idiopathic congenital clubfoot (CC) is a deformity with a difficult correction, it has several components: equinus, varus, adductus, cavus foot and internal tibial torsion. Treatment can be conservative and / or surgical in order to eliminate these deformities and get a pain-free walking foot allowing the patient to perform a right step. As a treatments result the patient may remain immobilized for long periods, which favors a muscular imbalance between the evertors and inverters; therefore the dynamic electrostimulation intervention on muscles as peroneal evertors, can help improve the balance between these muscles. **Objective:** To assess whether neuromuscular electrical stimulation is useful to improve muscle strength of the peroneal muscles in children who underwent a CC correctional surgery. **Material and methods:** A prospective, longitudinal, descriptive and comparative study was done. An experimental group with 10 CC feet and 10 feet of historical records were selected. There were performed initial and final clinical assessments to both groups, and surface electromyography (SEMG) assessments to experimental group, which received 30 sessions of neuromuscular electrical stimulation treatment to obtain muscular contraction. **Results:** In both groups a predominance of males were found, mean age was 5.5 years (range 3 to 8). The peroneal muscle strength, assessed by Daniels scale, increased post-treatment only in the experimental group and compared with the historical records was obtained $p = 0.001$. The motor unit potentials amplitude in the SEMG was increased in the experimental group at $p < 0.05$. **Conclusions:** The neuromuscular electrical stimulation after 30 sessions demonstrated an increase in peroneal muscle

strength compared with patients who received only conventional therapy without electrostimulation.

1. INTRODUCCIÓN

El Pie Equino Varo Aducto Congénito (PEVAC) idiopático es una deformidad compleja de etiología multifactorial de difícil corrección. Es la más frecuente de todas las deformidades congénitas. Se mencionan diferentes factores dentro de la etiología, como genéticos, mecánicos intrauterinos, arresto en el desarrollo fetal del pie, infecciosos, además de anomalías histológicas en las diferentes estructuras del pie (hueso, tendón, músculo, etc) y lesiones neuromusculares. Es más frecuente en el sexo masculino. La deformidad tiene varios componentes: equino y varo del retropie, aducto e inversión de antepie, cavo del pie y torsión tibial interna. El diagnóstico se realiza en el nacimiento dado que la deformidad es muy evidente. El objetivo del tratamiento es eliminar estas deformidades mediante manipulaciones y obtener un pie móvil y funcional, con el fin de que el paciente tenga una marcha plantígrada, funcional y sin dolor con adecuada movilidad, el cual puede ser conservador y/o quirúrgico, por lo que el paciente permanece inmovilizado por largos periodos, puede variar desde semanas hasta meses, sobre todo en aquellos pacientes que requieren de uno o más procedimientos quirúrgicos, cuando no se obtiene o no se logra mantener una adecuada alineación posterior al tratamiento conservador. Esto favorece un desbalance muscular entre los músculos invertores y evertores, se reporta que hay una pérdida en la masa de las fibras musculares tipo II por atrofia, en pacientes con esta patología o por desuso en los casos de reposo prolongado o inmovilización, por lo que se presenta un desbalance entre estas y las fibras musculares de tipo I.

La estimulación eléctrica neuromuscular (EENM) se utiliza en programas de fortalecimiento muscular tanto en personas sanas o atletas, como en aquellas que se encuentran en un proceso de recuperación postquirúrgico o por algún tipo de lesión músculo-esquelética. La estimulación eléctrica activa primero las fibras de tipo II y posteriormente las de tipo I, esto favorece la recuperación de la fuerza. Una intervención dinámica con EENM sobre los músculos evertores como los peroneos puede ayudar a mejorar el equilibrio entre estos y los invertores.

2. ANTECEDENTES

El Pie Equino Varo Aducto Congénito (PEVAC) idiopático, llamado también pie bot o zambo, es una deformidad compleja de etiología multifactorial de difícil corrección. La incidencia mundial se reporta en 1 a 1.24 por 1000 (1,2). Romero y Martínez reportan un 6.0 % de todas las deformidades congénitas en México (3). La etiología del PEVAC incluye factores genéticos, raza, sexo, con una relación hombre mujer 2:1; se presenta concordante en gemelos monocigotos en el 33% (4), y en los dicigotos en 2.9%, también se encuentra asociado con algunos síndromes más complejos (2,5,6). Se menciona una herencia de tipo poligénica (3), Gurnett encontró polimorfismos que pueden asociarse a mayor susceptibilidad para presentar PEVAC (6). Se han descrito factores mecánicos intrauterinos como mala posición del pie en el útero, bridas u oligohidramnios, fetales como arresto en el desarrollo fetal, etiología neuromuscular por lesión intrauterina del nervio peroneo (7), asociado a anomalías histológicas a nivel de hueso, tendón, músculos, vasos, etc., defectos cartilaginosos, cambios en el tejido germinal y sus estructuras óseas, degradación de las proteínas contráctiles de los fibroblastos y miofibroblastos (5,7,8,9,10). Se ha encontrado, también, en embriones de 8 semanas una probable etiología de tipo infecciosa por enterovirus (poliovirus o coxsackie) (1).

La deformidad tiene varios componentes: equino y varo del retropie, aducto e inversión de antepie, cavo del pie y torsión tibial interna (2). La deformidad se acompaña además de acortamiento de los tendones del gemelo, tibial posterior y

flexores de los dedos; asociado esto a debilidad de los músculos tibial anterior y peroneos (11,12). El diagnóstico se realiza desde el nacimiento y la severidad de la deformidad varía de acuerdo a la rigidez de las deformidades (2). Según la clasificación de Dimeglio, se dividen en flexibles a aquellos donde todos los componentes son fáciles de alinear (pie flexible) hasta aquellos donde la manipulación es extremadamente difícil, no se logran alinear las deformidades, éstas permanecen rígidas (pie rígido), existiendo dos categorías intermedias (2,13).

El objetivo del tratamiento conservador en los primeros días de vida es eliminar estas deformidades y obtener un pie móvil y funcional, con el fin de que el paciente tenga una marcha plantígrada, funcional y sin dolor con adecuada movilidad y sin callosidades. Este tratamiento consiste en manipulaciones mecánicas para alinear las deformidades, colocar inmovilización muslo podálica para mantener la alineación lograda por una semana, repitiéndose este procedimiento de manipulación y colocar inmovilización, los cuáles pueden variar en tiempo desde cuatro semanas hasta seis meses, así como variar en periodicidad de aplicación desde aplicarse dos veces por semana, durante las primeras cuatro semanas, hasta cada dos semanas y de acuerdo a la respuesta suspender su aplicación a los seis meses de edad, todo ello influido por el grado de rigidez que presente el pie del paciente (2,14, 15, 16,17). Si no se logra la alineación adecuada, el paciente tiene que someterse a tratamiento quirúrgico, donde se liberan las cápsulas articulares y ligamentos que participen en las deformidades, así como alargar o liberar los tendones contracturados, como el

tendón de Aquiles; se debe dejar un periodo de inmovilización de aproximadamente 12 semanas, con un cambio de inmovilización a las 6 semanas, posterior al retiro de la misma se requiere de control y manejo postoperatorio, se le enseñan a la madre ejercicios para conservar los arcos de movimiento del pie y se prescriben zapatos u ortesis para mantener la alineación adecuada para evitar recidivas y secuelas (2,14,18,19,20,21,22).

Cuando hay recidiva es necesario reintervenir al paciente; se realiza revisión de los procedimientos previos, posiblemente se requiera la transposición de algún músculo como el tibial anterior al centro del pie para mantener la alineación o evitar el aducto –supinación del antepie persistente (22, 23, 24, 25, 26).

Existe un desbalance muscular entre los músculos invertores y evertores, así como de los plantiflexores y los dorsiflexores (27), por lo que una intervención dinámica sobre los músculos evertores como los peroneos puede ayudar a mejorar el equilibrio entre estos músculos. Esta intervención puede realizarse con estimulación eléctrica (28).

Se ha utilizado la estimulación eléctrica neuromuscular (EENM) para inducir el fortalecimiento muscular, a través de la activación de las fibras nerviosas motoras que inervan a las fibras musculares desencadenando una contracción muscular(28,29).

Una corriente eléctrica es un flujo de partículas cargadas, estas pueden ser

electrones o iones. Las corrientes eléctricas se han aplicado a los sistemas biológicos para cambiar los procesos fisiológicos, se describe que Aristóteles utilizó la corriente como un agente terapéutico utilizando un pez torpedo para aliviar el dolor en pacientes con gota. En 1791, Galvani publicó por primera vez la producción de contracciones en el músculo esquelético al contactar un metal con un músculo de rana, llamó a este efecto electricidad animal; después Volta construyó un precursor de la batería y Galvani la utilizó para generar corriente con lo que provocaba contracciones, se le llamó corriente galvánica. En los años 30, Faraday descubrió que las corrientes eléctricas bidireccionales podían ser inducidas por un imán en movimiento y las llamó corrientes farádicas, éstas pueden generar contracciones musculares. En 1905 Lapicque desarrolló la Ley de excitación, que relaciona la intensidad y la duración de un estímulo y así provocar o no una contracción muscular.

Desde el siglo XVIII se empezó a utilizar la electroestimulación como método terapéutico para que el paciente pudiera hacer ejercicio, Jallabert en 1750 la utilizó para reeducación de un músculo paralizado. Duchenne en 1833 descubrió la forma de estimular eléctricamente a un músculo sin incidir necesariamente en la piel. En 1970 Yakov Kots la utilizó para potenciación muscular en individuos sanos. (30, 31)

Las corrientes eléctricas ejercen sus efectos fisiológicos despolarizando la membrana nerviosa, y por lo tanto generando potenciales de acción, siempre y cuando esta corriente tenga la suficiente amplitud y duración. Si se quiere

despolarizar un nervio motor se necesitan amplitudes y duración altas (150 a 350 μ -segundos), en pacientes pediátricos o geriátricos pueden ser suficientes pulsos más cortos de duración que van desde 125 a 250 μ -segundos. Los cuales son menos molestos o dolorosos, dado que las fibras C, que son las responsables de la transmisión del dolor lento, no se despolarizan. Los músculos inervados se contraen en respuesta a breves pulsos de electricidad porque la corriente provoca la despolarización de sus nervios motores, a esto se le conoce como EENM. Ésta tiene una onda bifásica equilibrada la cual no deja carga en el tejido, y por lo tanto no tiene efectos iónicos (28,29).

Con la estimulación eléctrica se activan primero las fibras nerviosas con los axones de mayor diámetro, que inervan a las fibras de mayor tamaño, rápidas, tipo II, y posteriormente se reclutan las que tienen un diámetro axonal más pequeño. En la contracción fisiológica normal se reclutan primero las alfa motoneuronas de diámetro pequeño en la médula, las cuales inervan a las fibras musculares tipo I. Se reporta que en los pacientes con PEVAC, los cuales son sometidos a periodos prolongados de inmovilización, puede existir un desbalance en la proporción de estas fibras, las tipo I están en mayor número que las tipo II (5,27). Así que la electroestimulación puede fortalecer de forma específica aquellas fibras atrofiadas como las tipo II, lo que ayudaría a disminuir el desbalance entre fibras en el paciente con PEVAC.

El músculo sufre adaptaciones fisiológicas dependiendo del tipo de electroestimulación a la cual es sometido. La electroestimulación de elevada

amplitud y escaso número de repeticiones (10 a 15 contracciones) aumenta la fuerza muscular y produce hipertrofia muscular. Por otro lado, la electroestimulación prolongada (más de 3 semanas) produce un aumento de la resistencia y modificaciones bioquímicas en el músculo como aumento de la actividad oxidativa, de mioglobulina, mitocondrias y del número de capilares. Lo reportado en la literatura indica que la electroestimulación neuromuscular por sí sola es de utilidad para prevenir o reducir la atrofia muscular. Se ha utilizado en pacientes con periodos de inmovilización articular, en individuos sometidos a intervenciones quirúrgicas de rodilla, la cual se coloca en forma postoperatoria, se utiliza también en medicina deportiva para acelerar la recuperación posterior a una lesión musculoesquelética. (32, 33,34, 35).

Recientemente Gelfer y cols. (2010) publicaron un estudio de EENM en pacientes con PEVAC, en el que concluyeron que ésta mejora los arcos de movimiento y la fuerza de los músculos peroneos. (36)

3. JUSTIFICACIÓN

El pie equino varo aducto congénito tiene una prevalencia de 1 a 3 por 1000 recién nacidos, representa el 6.0% de todas las deformidades congénitas en México (3). En el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) en la división de Rehabilitación Pediátrica ocupó el 9º lugar dentro de las patologías más frecuentes atendidas de primera vez en el 2009 (37). El tratamiento inicialmente es conservador con el objetivo de lograr un pie móvil, indoloro, plantígrado y funcional, sin embargo, puede requerirse tratamiento quirúrgico para lograr la alineación (2). A pesar de tratamientos exitosos, existe un elevado índice de recidiva, que varía del 12 al 30 % de los casos. Estos pacientes requieren tratamientos complementarios como cirugías de revisión, transposiciones tendinosa y en casos severos o en niños mayores cirugías óseas (26). Por lo anterior, los pacientes sufren periodos prolongados de inmovilización en periodos cortos de tiempo para mantener la alineación buscada, esto puede provocar un desbalance entre fibras tipo I y II, lo cual puede favorecer el desarrollo del desbalance entre músculos invertores y evertores. La estimulación eléctrica neuromuscular puede ser una alternativa para incrementar la fuerza de los músculos evertores.

4. HIPÓTESIS

La electroestimulación neuromuscular incrementa la fuerza de los músculos peroneos en los pacientes pediátricos con PEVAC.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL:

Valorar si la electroestimulación neuromuscular es útil para mejorar la fuerza de los músculos peroneos en los niños postoperados por pie equino varo aducto congénito.

5.2. OBJETIVOS PARTICULARES:

I.- Determinar la mejoría de la fuerza muscular de los peroneos mediante la valoración con la escala de Daniels.

II.- Determinar si se presentan cambios en la amplitud de los potenciales de unidad motora en la electromiografía de superficie posterior al tratamiento con electroestimulación neuromuscular.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Tipo de Estudio.

Experimental, prospectivo, longitudinal y comparativo.

6.2. Ubicación Temporal y Espacial.

Se realizó en el INR en el servicio de malformaciones congénitas en el año 2010 y 2011.

6.3. Criterios de Selección de la Muestra.

Grupo de Casos o experimental

Criterios de Inclusión.

- Pacientes entre 3 a 8 años de edad con diagnóstico de pie equino varo aducto.
- Postoperados en el INR.
- Que tengan un rango de movimiento mínimo de 5 grados de dorsiflexión y eversión.
- Que máximo tengan otra cirugía previa y que haya sido realizada en el INR.

Criterios de exclusión.

- Pacientes con cicatrices retráctiles.
- Anquilosis en el tobillo o pie.
- Que presenten alguna enfermedad concomitante o síndrome asociado.

Criterios de Eliminación.

- Pacientes que cumplieron todos los criterios de inclusión, pero que durante el proceso de terapia desarrollaron una patología infecciosa.
- Pacientes los cuales no cooperen para el tratamiento o para las valoraciones.
- Abandono del tratamiento.
- Falta de adherencia del tratamiento.

Grupo de controles históricos (evaluación de expedientes)

Criterios de Inclusión.

- Pacientes entre 3 a 8 años de edad con diagnóstico de PEVAC.
- Postoperados en el INR.
- Que tengan un rango de movimiento mínimo de 5 grados de dorsiflexión y eversión.
- Que máximo tengan otra cirugía previa y que haya sido realizada en el INR.
- Que hayan recibido 30 sesiones de terapia física.

Criterios de exclusión.

- Pacientes con cicatrices retráctiles.
- Anquilosis en el tobillo o pie.
- Que presenten alguna enfermedad concomitante o síndrome asociado
- Que hayan recibido algún tipo de electroestimulación como parte del programa de terapia física.

6.4. Variables.

6.4.1 Variables Independientes.

Estimulación eléctrica neuromuscular (EENM): Es un tipo de corriente eléctrica de onda bifásica simétrica con un intervalo de 100 μ -segundos entre las fases positiva y negativa, que se utiliza para fortalecimiento muscular. Con una frecuencia de 40 Hz, ciclo de 14/14, pulso fijo de 300 μ -segundos, el tipo de corriente es una variable cuantitativa, categórica nominal. No de repeticiones es cuantitativa, numérica discreta. La electroestimulación se realizó con un equipo de Interferenciales modelo 2778.

Edad: Tiempo transcurrido en años de vida de una persona. Se mide restando a la fecha actual, la fecha de nacimiento.

Sexo: Se refiere a las características fenotípicas, que identifican y diferencian a hombres de mujeres.

Tabla I: Operacionalización de Variables Independientes

Variable	Descriptiva	Operativa
Edad	Edad en años	4 – 8 años (cuantitativa)
Sexo	Diferencia biológica entre hombre y mujer	Masculino y femenino (cualitativa)
Estimulación eléctrica neuromuscular.	Corriente eléctrica que se utiliza para fortalecimiento muscular.	Corriente eléctrica de onda bifásica simétrica o equilibrada con un intervalo de interfase de 25 μ -segundos, con una frecuencia de 40 Hz, ciclo de 14/14, pulso fijo en 300 μ -segundos (cuantitativa nominal)

6.4.2 Variables Dependientes.

Fuerza muscular: Es la capacidad neuromuscular de superar una resistencia externa o interna gracias a la contracción muscular, de forma estática (fuerza isométrica) o dinámica (fuerza isotónica). Se midió la fuerza de los músculos peroneos mediante la escala de Daniels (variable cuantitativa ordinal) y mediante electromiografía de superficie (variable cuantitativa numérica discreta) con un equipo Viasis con las siguientes especificaciones filtro bajo a 20Hz, filtro alto 10KHz, barrido 100 milisegundos, sensibilidad de 200 microvoltios, impedancia de 20 K-ohm.

Tabla II Operacionalización de Variables Dependientes

Variable	Descriptiva	Operativa
Fuerza muscular	Es la capacidad neuromuscular de superar una resistencia externa o interna gracias a la contracción muscular, de forma estática (fuerza isométrica) o dinámica (fuerza isotónica).	Electromiografía de superficie (cuantitativa discreta). Escala de Daniels (cuantitativa ordinal)

6.5. Tamaño de la Muestra.

Se realizó un estudio piloto utilizando 10 pies para el grupo de tratamiento.

6.6. Análisis Estadístico.

6.6.1. Se realizó análisis descriptivo (edad y sexo).

6.6.2. Análisis intragrupos:

Grupo control histórico: Se aplicó t de Student para comparar pre y pos-

tratamiento.

Grupo de electroestimulación: Se aplicó t de Student en la valoración de Daniels para comparar pre y post-tratamiento. Y como en la evaluación por EMGS no se presentó distribución normal se realizó Wilcoxon para comparar pre y postratamiento.

6.6.3 Análisis intergrupos.

a) Para verificar si los grupos pueden ser comparables se realizó t de Student para muestras independientes, previamente se determinó la distribución normal de los datos de la valoración inicial mediante la escala de Daniels.

b) Se aplicó t de Student para muestras independientes para comparar los grupos control con el de electroestimulación en el postratamiento evaluados mediante la escala de Daniels.

b) Para el grupo control y el de electroestimulación en el postratamiento considerando el análisis de covarianza a partir de los promedios desde el estado pretratamiento. Se aplicó el modelo lineal general univariante del análisis de varianza con medias ajustadas con ANCOVA (análisis de Covarianza).

6.7. Descripción Operativa del Estudio.

1. El estudio se realizó en el consultorio número 49 de la División de Rehabilitación Pediátrica y en el área de Estimulación temprana del cuerpo 3 del INR.

2. En la consulta externa se identificaron a los posibles candidatos para el estudio y se invitó a sus padres a participar en el estudio, ver figura 1, y de aceptar firmaron la carta de consentimiento informado (anexo 1).
3. Se realizó evaluación inicial pre-tratamiento de los arcos de movimiento y de la fuerza muscular de acuerdo a la escala de Daniels (anexo 2).

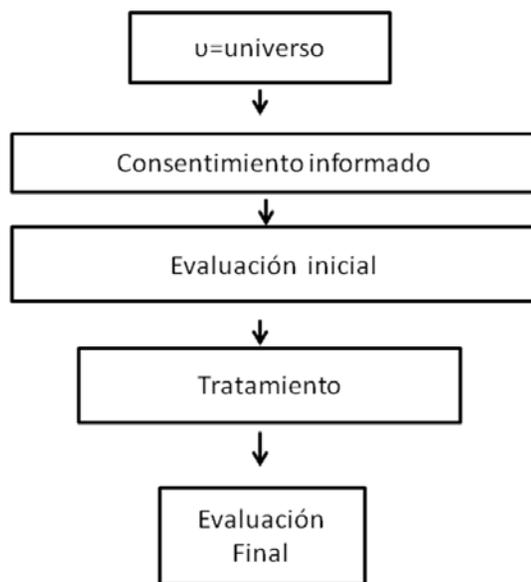


Figura 1. Flujograma del grupo de estudio con electroestimulación neuromuscular.

4. Se programó cita para la realización del estudio de electromiografía de superficie (EMGS). (Anexo 3). Se tomaron tres mediciones de acuerdo a la tabla III, en dos ocasiones, una basal y una post-tratamiento. Figuras 2,3 y 4
5. En el caso de los controles históricos, del expediente clínico, se tomaron los resultados de la valoración mediante la escala de Daniels, no se contó con resultados de EMGS, ya que ésta no se realiza de rutina.

6. Se instituyó el tratamiento:

a) Ambos grupos tanto el control histórico y el de tratamiento con electroestimulación (casos) recibieron: un programa de terapia física, consistente en:

- Aplicación de calor local por 20 minutos.
- Movilizaciones pasivas para mejorar arcos de movilidad.
- Estiramientos gentiles a tibial posterior, aductor del 1er orjejo, fascia plantar y triceps sural.
- Reeduación de la marcha por fases y variantes.

b) Al grupo de estudio con electroestimulación se le aplicó:

- Tipo de corriente eléctrica neuromuscular
- Intensidad suficiente para obtener una contracción de los músculos peroneos, sin que se contraigan músculos vecinos.
- Frecuencia 2.5 KHz (dependiendo de la tolerancia a la fatiga del músculo), un pulso cada 14 segundos.
- Colocación de los electrodos: longitudinalmente sobre los músculos peroneos.
- Si no se obtiene contracciones del músculo tratado se debe cambiar la polaridad de los electrodos, y si aún así no se obtiene respuesta, se suspenderá el tratamiento.
- Sesiones 5 días a la semana, por 6 semanas.

Tabla III. Valoración mediante EMGS

Actividad voluntaria sin resistencia.	Actividad voluntaria con una resistencia de 250 grs.	Actividad voluntaria con una resistencia de 500 grs.
---------------------------------------	--	--

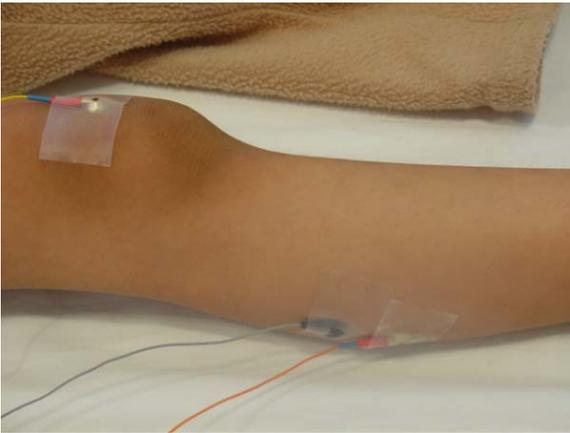


Figura 2. Colocación de electrodos de superficie para la realización de EMGS.



Figura 3. Valoración de la fuerza muscular de los músculos peroneos sin resistencia.



Figura 4. Trazo de la actividad registrada mediante los electrodos de superficie en la EMGS.

Se obtuvieron los valores de amplitud de los potenciales de acción muscular.

6.8 Aspectos bioéticos. Este estudio cumple con todos los puntos del Código de Núremberg, los principios éticos y directrices para la protección de sujetos humanos de investigación del Informe Belmont, los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos de la Declaración de Helsinki y a la Ley General de Salud en materia de salud.

A todos los padres de los pacientes se les invitó a participar en el estudio, explicándoles la naturaleza del mismo, y de estar de acuerdo firmaron la carta de consentimiento informado. (Anexo 1).

7. RESULTADOS

Descripción de las características de la muestra.

Se incluyeron 20 pies, 10 para el grupo de tratamiento con electroestimulación y 10 para el control histórico con la siguiente distribución. Tabla IV

Tabla IV Distribución de la población por edad, género y lado afectado del pie

Grupo	Edad (media)	Sexo masculino	Relación de pie afectado derecho/izquierdo
Control (histórico)	5.7	9 (90%)	5/5
Estudio (electroestimulación)	5.3	8 (80%)	5/5

En la tabla IV se muestra el análisis descriptivo de los pacientes: El promedio de edad fue de 5.7 años para el grupo histórico, y de 5.3 años para el grupo de electroestimulación, predominó el sexo masculino en ambos grupos. En relación a lado afectado se presentó por igual el mismo número de pie derecho en relación al izquierdo tanto en el grupo histórico como en el de electroestimulación.

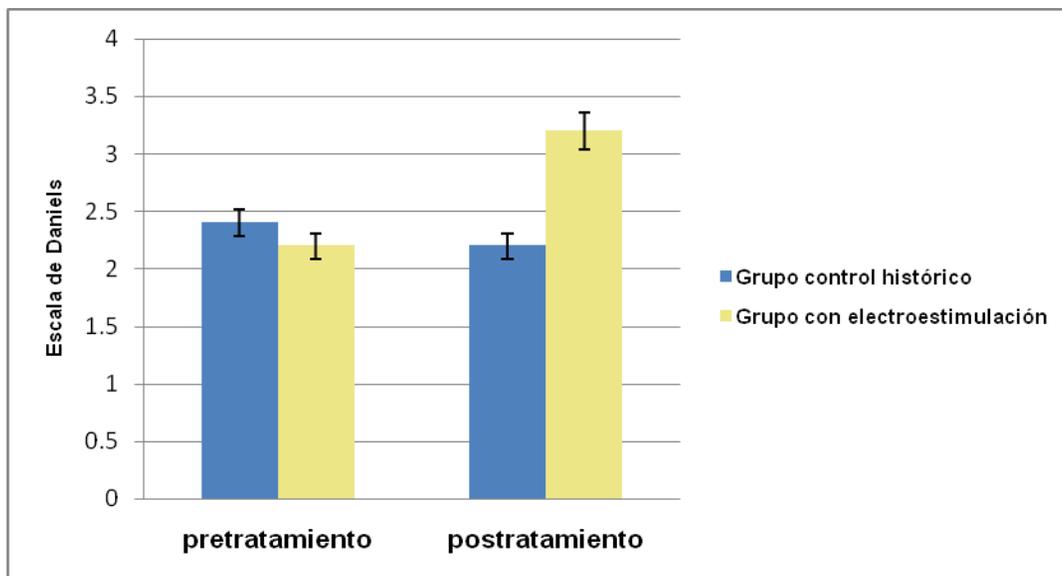


Figura 5 Comparación de la fuerza de los músculos peroneos entre los grupos de estudio.

En la figura 5 se muestra las medias de la fuerza muscular de los peroneos valorada mediante la escala de Daniels en los controles históricos como en el grupo de electroestimulación, tanto pre-tratamiento y post-tratamiento, presentándose un incremento en promedio de un punto en la escala de Daniels para el grupo de estudio (electroestimulación), en el grupo control no se presentó incremento, se encontró una $p = 0.002$ para el grupo de electroestimulación y una $p = 0.1$ para el histórico.

Se realizó un análisis de los grupos (control histórico y grupo de tratamiento con electroestimulación) pre-tratamiento o valoración inicial y se notó que no había diferencias entre ellos con un $p = 0.44$, lo que significa que son homogéneos y pueden compararse en el post-tratamiento. Se analizaron los valores obtenidos en

el post-tratamiento mediante la escala de Daniels comparando los dos grupos mostrando diferencias significativas con una $p = 0.001$, lo que indica que el resultado fue mejor en el grupo de electroestimulación.

Tabla V Análisis de varianza univariante entre las medias del grupo control histórico y el de electroestimulación de la valoración de la escala de Daniels.

Grupo	Valoración inicial	Valoración final	Medias marginales ajustadas con la covariable
Control	2.4	2.2	2.0
Histórico	(.88)	(1.03)	
Electroestimulación	2.2	3.2	3.3
	(.78)	(.78)	
Las covariables se ajustaron a 2.3 de acuerdo a la valoración Daniels pre-tratamiento.			

Tabla V se muestra el análisis de varianza univariante entre las medias ajustadas con la covariable entre los datos obtenidos en la evaluación final y la inicial para ambos grupos. Encontrándose una $p = 0.0001$ con un 39.1% de incremento en la fuerza de los músculos peroneos posterior a la aplicación de un programa de electroestimulación y en cambio se observó que el efecto en el grupo control histórico no aumentó, al contrario disminuyó un 4%.

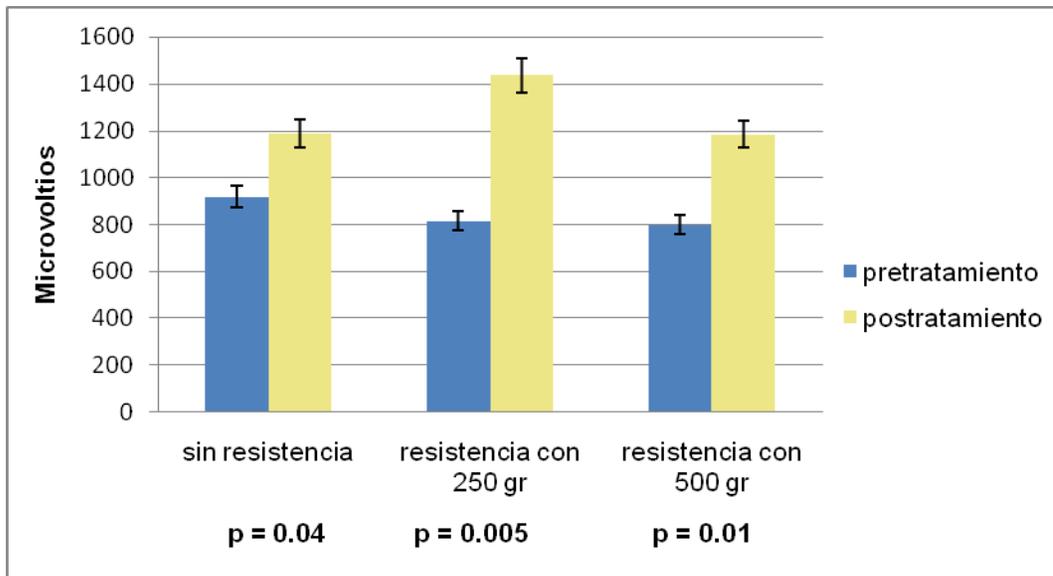


Figura 6 Comparación por EMGS de superficie de los músculos peroneos del grupo con electroestimulación.

En la figura 6 se muestra las medias de los valores obtenidos en la electromiografía de superficie de los músculos peroneos tanto pre como postratamiento, en la figura se ilustra un incremento en la amplitud en todas las evaluaciones realizadas después del programa con electroestimulación, con $p < 0.05$, tanto en la evaluación con movimiento voluntario sin resistencia como al colocar una resistencia de 250 y 500 grs. Cabe mencionar que se realizó en el análisis estadístico la transformación logarítmica de la media de cada valor obtenido en la amplitud de la electromiografía de superficie para estabilizar las varianzas y se le aplicó la prueba de Wilcoxon.

Tabla VI Cambios en la amplitud de los PAUMs en la EMGS posterior a la electroestimulación.

EMGS	Medias de amplitud de los PAUMs inicial	Medias de amplitud de los PAUMs final	Porcentaje de incremento en la amplitud
Sin peso	919	1190	30
250 grs.	814	1436	76
500 grs.	799	1185	48

En la Tabla VI se aprecia el incremento de la amplitud del 30% (sin peso), 76% (250 grs.) y 48% (500 grs.) en los potenciales de acción de la unidad motora (PAUMs) medidos por EMGS, posterior a la electroestimulación neuromuscular.

8. DISCUSIÓN

El PEVAC es una deformidad frecuente en todas las poblaciones, al igual que en México en donde se ha informado una prevalencia del 6% (3). Consideramos que muy probablemente se trata más bien de una malformación, ya que se han descrito estructuras anormales en los estudios anatomopatológicos (9).

En este estudio el PEVAC se presentó con mayor frecuencia en el sexo masculino, como ha sido reportado en la literatura y esto es lo que ocurre en padecimientos hereditarios de etiología poligénica o multifactorial, en la que uno de los sexos se afecta más (2).

Esta patología es tratada de forma conservadora y/o quirúrgica, y en cualquiera de las dos formas el pie queda inmovilizado por periodos prolongados y los músculos pierden fuerza. Dentro de las medidas que se instalan en estos pacientes están las movilizaciones pasivas del pie para conservar la alineación, sin embargo es necesario fortalecer los músculos contrarios a la aducción, como son los peroneos. En este estudio se probó la EENM, aunada a la terapia física, para fortalecer los músculos y se comprobó que se obtienen mejores resultados, comparado con un grupo que no recibió EENM. La electroestimulación ha sido utilizada en otras patologías (mielomeningocele). No obstante, para PEVAC en la literatura sólo hay un reporte (Gelfer y cols., 2010) en el cual la muestra también fue pequeña (n=8), y en dicho artículo se llegó a la misma conclusión, que la electroestimulación es un tratamiento que sí incrementa la fuerza muscular y que

es ideal por no ser invasivo y no producir molestias significativas.

En el presente estudio, la electroestimulación neuromuscular mostró un incremento significativo en la fuerza de los músculos peroneos, evaluados mediante la escala de Daniels. El análisis estadístico de los datos para el grupo histórico reportó que no se presentó ninguna mejoría en la fuerza, al contrario, ésta disminuyó. En cambio, en el grupo de EENM la fuerza se incrementó hasta en un grado en la escala de Daniels. Además mediante la EMGS en el grupo EENM aumentó la amplitud de la actividad eléctrica del músculo hasta en un 76%.

8.1 DESCRIPCIÓN DE ESTA TÉCNICA EN OTRAS PATOLOGÍAS Y EL USO DE OTRAS TÉCNICAS DE ELECTROESTIMULACIÓN

En el ámbito de la rehabilitación pediátrica se han utilizado diferentes modalidades de estimulación eléctrica.

La EENM se ha aplicado a pacientes con patologías como mielomeningocele. Sin embargo, debido a que en los diferentes estudios realizados las muestras son pequeñas, no se puede determinar su eficacia en esa patología (38).

También se han utilizado diferentes tipos de corrientes en protocolos de estimulación eléctrica funcional (FES), sobre todo en músculos espásticos como en los pacientes con parálisis cerebral infantil. Otros autores revisaron la bibliografía de manera sistemática y analizaron la evidencia existente sobre el uso del FES en niños y adolescentes con esta patología (38), en los parámetros de

cinemática de la marcha y espacio-temporales, así como las actividades de la vida diaria, en sus conclusiones mencionan que aunque en los diferentes estudios se llega a demostrar que existe mejoría, no existe el suficiente soporte metodológico por lo que aún no se puede recomendar (39).

8.2 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN ESTE ESTUDIO.

Es conveniente dar un seguimiento para determinar si la fuerza que se obtuvo se conserva y valorar si además tiene algún efecto positivo para mantener o incrementar la alineación del pie obtenida mediante el procedimiento quirúrgico. Es importante también incrementar la muestra e incluso ver la posibilidad de realizar un ensayo clínico aleatorizado doble ciego para demostrar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular.

8.3 EFECTO SELECTIVO DE LA EENM SOBRE LOS DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES ESQUELÉTICAS.

Debido a los diferentes diámetros de las fibras musculares es más factible activar selectivamente a las fibras musculares de mayor diámetro (fibras del grupo II) que las fibras musculares de menor diámetro (fibras del grupo I). Esto explicaría porque de manera selectiva se mejoraría la fuerza muscular ya que las fibras del grupo II producen mayor fuerza durante la contracción y éstas son las que más se afectan durante la inmovilización en este tipo de patología.

8.4 IMPLICACIÓN CLÍNICA.

Es pertinente remarcar que el estudio clínico mostrado en este trabajo es indicativo de que la EENM puede ser utilizada como coadyuvante en el manejo de los pacientes con PEVAC, debido a que se trata de un tratamiento bien tolerado y que parece ofrecer mejores resultados que sólo la terapia convencional. El hecho que se pueda estimular selectivamente los músculos deseados permite restablecer el balance muscular que esta alterado en el PEVAC y otras muchas patologías.

9. CONCLUSIONES

1. El programa de electroestimulación neuromuscular puede incrementar la fuerza de los músculos en pacientes pediátricos.
2. La electroestimulación incrementa la actividad de los músculos peroneos con lo cual se mejora el balance existente entre los peroneos y el tibial posterior.
3. La electroestimulación es un programa no invasivo y no doloroso que ofrece buenos resultados.
4. Clínicamente hubo mejoría en el patrón de la marcha.
5. Puede considerarse como un tratamiento de rutina en el padecimiento estudiado (PEVAC) y en otros donde exista el problema de desbalance muscular.

10. PERSPECTIVAS

Este estudio puede ser la base para futuras investigaciones sobre la eficacia del tratamiento mediante programas de EENM en la población pediátrica mexicana y en diferentes patologías que involucren un desbalance muscular ya sea por reposo prolongado o por periodos de inmovilización prolongados, o porque la patología en si altere este balance.

Este estudio pretende abrir la posibilidad de ofrecer una terapia más a los pacientes con pie equino varo aducto congénito.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Orlando Sejas O, Ríos Monroy R, Guinchard y Sánchez E, Guizada G. Pie equino varo aducto congénito idiopático: Razones para su reoperación. *Rev Mex Ortop Traum* 2001; 15(2): 67-71.
2. Dobbs M, Gurnett CA. Update on Clubfoot: Etiology and Treatment. *Clin Orthop Relat Res*. 2009; 467:1146-1153.
3. Romero Arroyo JAC, Martínez Urbalejo. Tratamiento del pie equino varo aducto mediante la incisión tipo Cincinnatti en el Hospital para el Niño Poblano. *Acta Ortopédica Mexicana*. 2006;20(5):201-205.
4. Dobbs M. Clubfoot: Etiology and Treatment. *Clin Orthop Relat Res*. 2009; 467:1119–1120.
5. Shyy W, Wang K, Sheffield C, Morcuende J. Evaluation of Embryonic and Perinatal Myosin Gene Mutations and the Etiology of Congenital Idiopathic Clubfoot. *J Pediatr Orthop*. 2010; 30(3): 231–234.
6. Gurnett CA, Alaei F, Desruisseau D, Boehm S, Dobbs M. Skeletal Muscle Contractile Gene (TNNT3, MYH3, TPM2) Mutations Not Found in Vertical Talus or Clubfoot. *Clin Orthop Relat Res*. 2009, 467:1195–1200.
7. Dilawaiz Nademm R, Keith Brown J, Lawson G, Macnicol M. Somatosensory evoked potentials as a means of assessing neurological abnormality in congenital talipes equinovarus. *Developmental medicine and child neurology*. 2000;42:525-530.
8. Roza Mahmoodian, Jeremi Leasure, Gadikota H, Capaldi F, Siegler S. Mechanical properties of Human Fetal Talus. *Clin Orthop Relat Res*. 2009; 467:1186–1194.
9. Ponsetti VI, Campos J. The classic, observations on pathogenesis and treatment of congenital clubfoot. *Clin Orthop Relat Res*. 2009; 467:1124-1132.
10. Espinosa-Urrutia E, Penagos-Paniagua A. Conservative treatment of idiopathic congenital clubfoot. Efficiency assessment. *Acta Ortopédica Mexicana* 2004; 18(Suppl. 1): S63-S69.
11. Goriainov V, Judd J, Uglow M. Does the Pirani score predict relapse in clubfoot?. *J Child Orthop*. 2010; 4:439–444.
12. Holguín E, Rosselli P, Ferreira H, Mendoza A. Valoración ecográfica de la tenotomía del Aquiles en el método de Ponseti. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*. 2007; 21(1): 31-35.

13. Bensahel B. Final evaluation of clubfoot. *J. Pediatr Orthop.* 1995; 4(2):137-141.
14. Shawne Faulks, Stephens Richards. Clubfoot Treatment Ponseti and French Functional Methods are Equally Effectiv. *Clin Orthop Relat Res.* 2009; 467:1278–1282.
15. Hanneke Andriesse, Lena Westbom, Gunnar Hägglund. Motor ability in children treated for idiopathic clubfoot. A controlled pilot study. *BMC Pediatrics* 2009, 9:78:1-7.
16. Bor N, Coplan J, Herzenberg J. Ponseti Treatment for Idiopathic Clubfoot Minimum 5-year Followup. *Clin Orthop Relat Res.* 2009; 467:1263–1270
17. Lori A. Karol, Kelly Jeans, Ron ElHawary. Gait Analysis after Initial Nonoperative Treatment for Clubfeet Intermediate Term Follow-up at Age 5. *Clin Orthop Relat Res.* 2009; 467:1206–1213
18. Jaffrey. A. Comparison of the long-term results of posterior and comprehensive release in the treatment of clubfoot. *J. Pediatric Orthop.* 1997;17(1): 29-35.
19. Ponseti IV. Current concepts review treatment of congenital club foot. *J. Bone and Joint Surg.* 1992; 74 (A:3): 448-453.
20. Ponseti IV. Smoley EN. Congenital club foot: The results of treatment. *J. Bone and Joint Surg Am.* 1963.45:261-344.
21. Garg S, Porter K. Improved bracing compliance in children with clubfeet using a dynamic orthosis. *J Child Orthop.* 2009; 3:271–276.
22. Lajja Desai, Florin Oprescu, Andrew DiMeo, Jose A. Morcuende. Bracing in the Treatment of Children with Clubfoot: Past, Present, and Future. *Iowa Orthop J.* 2010; 30: 15–23.
23. Sanabria Ávila, López Ruiz, Matamoros Álvarez. Manejo y seguimiento del pie zambo idiopático en niños mayores de 3 años de edad por medio del método de Ponseti. *Revista médica de costa rica y centroamérica* *IXVII.* 2010; 594: 377-384.
24. Hilton PG, Lory K, Kelly J. Gait analysis of children treated for moderate clubfoot with physical therapy versus the Ponseti cast technique. *Journal of pediatric orthopaedics.* 2010; 30(3): 235-239.
25. Khaled Loutfy El-Adwar, Hesham Taha Kotb. The Role of Ultrasound in Clubfoot Treatment. Correlation with the Pirani Score and Assessment of the Ponseti Method. *Clin Orthop Relat Res.* 2010; 468:2495–2506.

26. Ponseti IV, Smoley EN. The Classic Congenital Club Foot: The Results of Treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 2009; 467:1133–1145.
27. Ippolito F, De Maio F, Bellini A. Leg muscle atrophy in idiopathic congenital clubfoot: is it primitive or acquired? *J Child Orthop.* 2009; 3:171–178.
28. Watson T. Current concepts in electrotherapy. *Haemophilia* 2002; 8, 413–418.
29. Jerrold Scott Petrofsky. Electrical Stimulation: Neurophysiological Basis and Application. *Basic Appl Myol* 2004;14(4): 205-213.
30. Delitto A. Introduction to “Russian electrical stimulation”: putting this perspective into perspective.” *PhysTher* 2002;82:1017–1018.
31. Alex R Ward, Russian electrical stimulation: The early experiments. *Phys Ther* 1982;2: 1019-1030.
32. Brasileiro JS, Castro CES, Parizotto NA, Sandoval MC. Estudio comparativo entre la capacidad de generación de torque y la incomodidad sensorial producidos por dos formas de estimulación eléctrica neuromuscular en sujetos sanos. *Rev Iberoam Fisioter Kinesiol* 2001;4(2): 56-65.
33. Petterson S, Mizner R, Stevens J, Rasis L, Bodenstab A, Newcomb W, Snyder-Mackler J. Improved Function From Progressive Strengthening Interventions After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Clinical Trial With an Imbedded Prospective Cohort. *Arthritis and Rheumatism (Arthritis Care and Research)* 2009; 61(2):174–183.
34. Walls R, McHugh G, O’Gorman D, Moyna N, O’Byrne J. Effects of preoperative neuromuscular electrical stimulation on quadriceps strength and functional recovery in total knee arthroplasty. A pilot study. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2010; 11:1-9.
35. Palmieri-Smith R, Thomas A, Karvonen-Gutierrez C, Sowers M. A Clinical Trial of Neuromuscular Electrical Stimulation in Improving Quadriceps Muscle Strength and Activation Among Women With Mild and Moderate Osteoarthritis. *Phys Ther.* 2010; 90:1441-1452.
36. Gelfer Y, Durham S, Daly K, Shitrit R, Smorgick Y, Ewins D. The effect of neuromuscular electrical stimulation on congenital talipes equinovarus following correction with the Ponseti method: pilot study. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 2010; 19(5): 390-395.
37. Estadística anual 2009 del Servicio de Malformaciones Congénitas del Instituto Nacional de Rehabilitación.

38. Dagenais LM, Lahay ER, Stueck KA, White E, Williams L, Harris SR. Effects of Electrical Stimulation, Exercise Training and Motor Skills Training on Strength of Children with Meningomyelocele: A Systematic Review. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 2009; 29(4): 445-463
39. 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.

12. ANEXOS

ANEXO 1



INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN
DIVISIÓN DE REHABILITACIÓN PEDIÁTRICA

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Fecha: _____

Nombre del paciente: _____

Edad: _____ Registro: _____

Estoy enterado(a) de que mi hijo(a) tiene el diagnóstico de **Pie equino varo aducto congénito**. Sé me ha explicado sobre la opción de tratamiento con terapia de rehabilitación, mediante la aplicación de corriente eléctrica neuromuscular. La cual consiste en la colocación de electrodos de superficie los cuales no dañaran a mi hijo (a) y él envió de un estímulo eléctrico el cual no es doloroso, pero puede ser molesto, con lo que mejorara la fuerza de los músculos de la pierna (músculos peroneos). Es un método no invasivo, no doloroso, aunque puede ser molesto. Que no ocasiona daños ni en el momento de realizarse, ni posteriormente.

Se me ha informado y he entendido que la terapia es con el fin de mejorar la fuerza muscular del pie de mi hijo.

Acepto que mi hijo participe en el protocolo de investigación **Electroestimulación en el tratamiento de pacientes pediátricos con pie equino varo aducto postoperados. Estudio piloto**

En el momento que yo lo desee seré libre de retirar a mi hijo(a) de la investigación, sin que esto afecte o le sea negada la atención médica para su tratamiento en esta Institución.

PADRE: _____

MADRE: _____

TUTOR U OTRO FAMILIAR: _____

(Nombre y Firma de los Responsables)

TESTIGOS

Nombre y Firma

Nombre y Firma

Investigador responsable: Dra. Morales Osorio María Guadalupe.
Tel: 59 99 00 00 ext. 13109.

ANEXO 2

Valoración de la fuerza muscular
Escala de Daniels.

0	Ausencia de contracción
1	Contracción sin movimiento
2	Movimiento completo pero sin oposición, ni gravedad
3	El movimiento puede vencer la acción de la gravedad
4	Movimiento con resistencia parcial
5	Movimiento con resistencia máxima

ANEXO 3

Electromiografía de superficie.

La electromiografía (EMG) es la técnica que registra el potencial eléctrico generado por la despolarización de la membrana externa de la fibra muscular. Su detección se realiza por medio de electrodos intramusculares o superficiales. La electromiografía de superficie (EMGS), se utiliza para estudios en donde se pretende observar el comportamiento muscular global, los patrones de actividad temporal y la fatiga de un músculo o de un grupo muscular. Saber qué grado de actividad muestra durante los períodos en que se encuentra activo. La señal de EMGS representa la suma de potenciales de acción de unidades motoras (PAUMs) individuales, que se generan por las descargas continuas e irregulares de las unidades motoras activas en el músculo; ello se evidencia en su trazado de forma irregular.

A medida que aumenta el nivel de fuerza ejercida durante la contracción muscular, por una parte, se produce un aumento del número de unidades motoras activadas, observable por aumento de la amplitud (reclutamiento espacial) y, por otra, se produce un aumento de la frecuencia de disparo de las motoneuronas (reclutamiento temporal). Tales requerimientos condicionan la morfología y las características de las ondas del EMGS, explicable por los cambios bioquímicos a nivel del músculo, variaciones en la proporción de combustible.

El tratamiento y análisis de la señal electromiográfica puede realizarse a partir de los datos acumulados en memoria que se vuelcan en la computadora. De esta forma

aparece en pantalla la señal cruda (o señal bruta) del electromiograma de superficie correspondiente a la contracción muscular.

Se utilizó un equipo Viasis con las siguientes especificaciones filtro bajo a 20Hz, filtro alto 10 KHz, barrido 100 msec, sensibilidad de 200 microvoltios, impedancia de 20 K-ohm.

Con electrodo de copa y gel conductor.

Procedimiento para el registro de la EMGS:

1.- Se colocaron los electrodos de copa de oro, de 0.5 mm de diámetro, el activo sobre el punto motor del músculo peroneo largo, un electrodo de referencia a 2 cm por abajo del activo, y un electrodo de tierra colocado sobre la patela.

2.- Se le solicitó al paciente que realizara la actividad voluntaria en movimiento de eversión sin colocar peso (previo entrenamiento de la forma en que se debe de realizar el movimiento para valorar la fuerza), se registró la actividad en 5 ocasiones, posteriormente se repite el proceso con 250 y 500 grs. de peso.

3.- Se analizaron 2 seg. de duración, durante el cual se midió la amplitud de pico a pico de los potenciales y se realizó un promedio de las medidas.