



TOMA DE FUERZAS PRODUCIDAS POR LA RECIDIVA DEL PIE EQUINO VARO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO PONSETI

María Isabel Montenegro Muñoz, Óscar Iván Campo Salazar

**Universidad Autónoma de Occidente
Cali, Colombia**

Resumen

El pie zambo es una deformidad compleja que con frecuencia causa discapacidad, ya sea por la deformidad original o a las condiciones secundarias y problemas asociados al tratamiento. Actualmente, mezclas de diferentes métodos son usados para evaluar la gravedad de la deformidad. Sin embargo, ninguno es ideal ya que la evaluación biomecánica implica la evaluación de las fuerzas y el movimiento del sistema musculoesquelético, etc.

Como resultado de la tesis de grado del co-investigador, en el que se desarrolló un nuevo diseño de la férula usada al final del tratamiento Ponseti en niños con pie equino varo congénito, surgió la necesidad de investigar más profundamente las fuerzas generadas por la recidiva de la patología ya durante el estudio de la bibliografía no se pudo obtener un valor representativo de estas. Dichas fuerzas son necesarias para el diseño de la férula y la elección del material en el que se va a fabricar, para evitar que el material sufra algún tipo de deformación y reaparezca la patología.

En este sentido, y dando continuidad al trabajo anteriormente mencionado, se pretende desarrollar un método para obtener las fuerzas de recidiva (plantiflexión y aducción) ejercida por el pie de un paciente de pie zambo en etapa final del tratamiento de Ponseti, con el fin de aportar al estudio de la patología y así desarrollar una técnica eficaz que evite la reaparición de la deformación del pie.

Palabras clave: fuerza; pie equino – varo; recidiva

Abstract

The clubfoot is a complex deformity that frequently causes disability, either due to the original deformity or to the secondary conditions and problems associated with the treatment. Currently, mixtures of different methods are used to assess the severity of the deformity. However, none is ideal for biomechanical evaluation involves the evaluation of the forces and movement of the skeletal muscle system, etc.

As a result of the co-investigator's degree thesis, which developed a new design of the splint used at the end of the Ponseti treatment in children with congenital equine varus foot, the need arose to investigate more deeply the forces generated by the relapse Of the pathology already during the study of the bibliography could not obtain a representative value of these. These forces are necessary for the design of the splint and the choice of the material in which it is to be manufactured, to avoid that the material undergoes some type of deformation and reappears the pathology.

In this sense, and with the continuity of the previously mentioned work, it is trying to develop a method to obtain the forces of relapse (plantiflexion and adduction) exerted by the foot of a patient of clubfoot in the final stage of the treatment of Ponseti, in order to contribute to the study of the pathology and thus to develop an effective technique that avoids the reappearance of the deformation of the foot.

Keywords: *strength; equine foot - varus; relapse*

1. Introducción

La patología de pie equino varo o pie zambo ocurre principalmente en el tarso, ya que los huesos están en una posición extrema de flexión, aducción e inversión. El astrágalo se encuentra en flexión plantar severa, el escafoides está desplazado medialmente y la parte anterior del calcáneo esta debajo de la cabeza del astrágalo causando el varo y el equino del retropié. La adecuada corrección de esta desviación ocurre cuando se desplaza el calcáneo lateralmente a su posición normal debajo del astrágalo (Pirani et al. 2003). En el pie zambo existe una tracción excesiva del tibial posterior aumentada por el gastrosóleo, el tibial anterior y los flexores largos de los dedos, además se presentan músculos más pequeños y más cortos que en el pie normal. Además, los ligamentos posteriores y mediales del tobillo y de tarso están muy engrosados y rígidos, lo que provoca que el calcáneo y el navicular permanezcan en aducción y en inversión (Pirani et al. 2003).

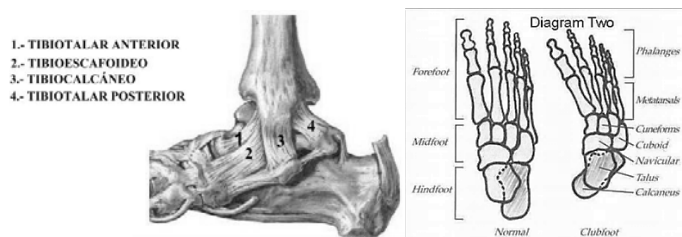


Figura 1. Ligamentos y estructuras óseas del pie causante de la recidiva

En la recidiva se perciben las siguientes alteraciones óseas (Fernández, 2012):

- El astrágalo está flexionado, y subluxado hacia adelante y adentro con “giba anterior”, “barra de Adams”.
- El calcáneo se orienta hacia abajo y adentro. Es convexo por fuera y más grande por adelante.
- El escafoides se luxa hacia adentro y proximal.
- El cuboides lo hace hacia adentro y arriba.
- La tibia puede tener rotación interna.

Las deformidades residuales tardías después del tratamiento de Poseti pueden ser dinámicas o rígidas y pueden afectar a cada parte del pie y tobillo. El equino, varo y la rotación interna del calcáneo son las más comunes. En los pies tratados quirúrgicamente para el alargamiento del tendón de Aquiles, se puede presentar una posterior incapacidad biomecánica en el retropié que llevará a la sobre-corrección (Uglow et al. 2010). El alargamiento de este tendón produce una insuficiencia en la calidad y capacidad para realizar la plantiflexión con carga (durante la bipedestación y la marcha), llevando progresivamente a la deformidad en cavo. Los procesos siguientes del cuadro clínico del pie sobre corregido es la deformidad del Talo, deformidad peronea, deformidad en Hallux Valgus por la rotación y pronación del primer metatarsiano, Hallux Flexus por la deformidad de la articulación Metatarsofalángica (Ochoa, 1996).

2. Planteamiento del problema

El pie equino varo congénito, también denominado pie zambo es una deformidad de etiología multifactorial que se diagnostica desde el nacimiento debido a la evidencia en la deformación (Morales, 2011). En los últimos años el pie equino varo congénito (PEVC) se ha tratado mediante el método de Ponseti que se considera el procedimiento estándar a nivel mundial, consta de la aplicación de una serie de yesos que moldean las piernas con el fin de que estas se mantengan en abducción y posteriormente se realiza una tenotomía para corregir la tensión en el tendón de Aquiles, la férula de rehabilitación se formula para colocarse inmediatamente después de quitar el último yeso y 3 semanas después de la tenotomía (Rosselli, 2006).

Thacker et al (2005) reportó en su estudio un 58 % de reaparición en pacientes que incumplían con el uso de la órtesis, en comparación con un 0 % de recidiva en pacientes obedientes. Las deformidades recurrentes asociadas con el pie equino varo ocurren en el 20 % o 30 % de los pacientes, el seguimiento continuo a los pacientes es esencial para identificar y tratar las recidivas rápidamente ya que, incluso después de un tratamiento conservador exitoso, entre el 2 % y el 20 % pueden necesitar procedimientos quirúrgicos para corregir deformidades residuales (Uglow, y Kurup, 2010).

Entonces, ¿Cómo se puede determinar la fuerza de recidiva (plantiflexión y aducción) ejercida por el pie de un paciente de pie zambo en etapa final del tratamiento de Ponseti, con el fin de aportar al estudio de la patología y así desarrollar una técnica eficaz que evite la reaparición de la deformación del pie, en la ciudad de Cali?

3. Justificación

Las recidivas suelen darse por la dificultad que tiene el menor de mantener el pie en la bota de la férula, o la incomodidad que manifiestan al usarlas por lo que sus padres se las retiran. También suelen darse por la persistencia del proceso patológico muy activo, que es el origen de la deformidad. En el método de Ponseti, si se presenta una recidiva, el pie se debe volver a enyesar para corregirlo, al menos 2 o 3 yesos según la severidad, cambiados semanalmente. Luego de este procedimiento, se programa el uso de la férula nuevamente (Pirani, Dietz, Morcuende, Mosca, Herzenberg, Steenbeek, 2003).

El desafío en el tratamiento del pie equino varo, es proporcionar al niño un pie plantigrado funcional. Después del tratamiento de la deformidad primaria y la recurrente, puede presentarse la deformidad residual que puede o no influir en una deficiencia funcional. El médico debe decidir que es relevante y puede ser mejorado, y qué no tiene ninguna influencia en la funcionalidad del pie, al igual que los cirujanos deben decidir si tienen una oportunidad real para mejorar la funcionalidad y reducir los síntomas. (Uglow et al. 2010).

El pie zambo es una deformidad compleja que con frecuencia causa discapacidad, ya sea por la deformidad original o a las condiciones secundarias y problemas asociados al tratamiento. Actualmente, mezclas de diferentes métodos son usados para evaluar la gravedad de la deformidad. Sin embargo, ninguno es ideal ya que la evaluación biomecánica implica la evaluación de las fuerzas y el movimiento del sistema musculoesquelético e incluye el análisis de la distribución de la presión del pie y los parámetros de marcha (Herd, Macnicol, y Abboud, 2004).

4. Antecedentes

Durante los últimos 20 años han surgido muchas técnicas para la medición de la distribución de la presión en la planta del pie, pero ninguna cumple con los requisitos

ideales. Los datos generados por estos estudios brindan información cualitativa y cuantitativa sobre la estructura y función del pie, y han encontrado un lugar para la evaluación de la artritis reumatoide, la parálisis cerebral y la diabetes mellitus. Sin embargo, la presión del pie puede verse afectada por la edad, el tamaño, el peso y la velocidad de marcha en análisis dinámico, por lo tanto, al evaluar los niños durante un número de años, los efectos del crecimiento deben tenerse en cuenta. La falta de bibliografía que define la presión del pie en los niños dificulta la evaluación (Herd et al. 2004).

- “PADMAPADA” Compliance Monitored Clubfoot Brace, monitor de conformidad de la férula de pie equino varo:

Padmapada es un monitor de conformidad de la férula de pie equino varo usada al final del tratamiento. Esta plantilla verifica la correcta posición del pie en la férula y el contacto entre el pie y la plantilla para saber si el pie está retomando la deformación.(Kammardi, Sondur, Dinesh, Nori, Madhuri, y Chilbule, 2015).



Figura 2. Plantilla Padmapada y ubicación de sensores.

- Newly Designed Foot Orthosis for Children With Residual Clubfoot After Ponseti Casting: Nuevo diseño de órtesis de pie para niños con pie equino varo residual después del enyesado de Ponseti:

Milwaukee Foot Orthosis (MFO) es un nuevo diseño de órtesis para la corrección de la recidiva del pie equino varo, usando tecnología para medir la presión. Datos: área de contacto plantar (cm^2), máxima fuerza de reacción (N), pico de presión (N/cm^2), desplazamiento medio-lateral (mm), tiempo vs presión ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$) (Liu, Tassone, Rizza, Linford, Thometz, ..., y Tarima, 2014).



Figura 3. Diseño de órtesis para controlar la recidiva del pie equino varo.

- Plantar pressures in children with congenital talipes equino varus—A comparison between surgical management and the Ponseti technique: Presión plantar in niños con pie equino varo congénito –A comparación con el manejo quirúrgico y la técnica de Ponseti:

Pedobarógrafo de alta resolución para grabar la distribución de la presión plantar (Salazar-Torres, McDowell, Humphreys, y Duffy, 2014).

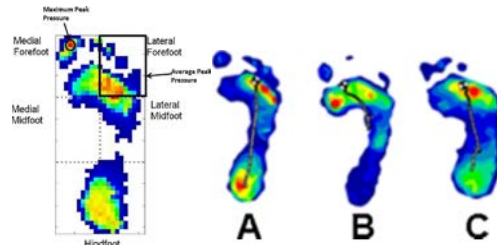


Figura 4. División de la superficie plantar, definición de los picos máximos de presión. A) Pie de control, B) Ponseti, C) pie tratado por cirugía.

- Pedobarographic Analysis Following Ponseti Treatment for Congenital Clubfoot: Análisis Pedobarográfico después del Tratamiento de Ponseti para el Pie Equino Varo Congénito:

Exámen pedobarográfico: sugiere diferencias entre la máxima fuerza, impulso, área de contacto y pico de presión comparado con los sujetos de control (Sinclair, Bosch, Rosenbaum, y Böhm, 2009).

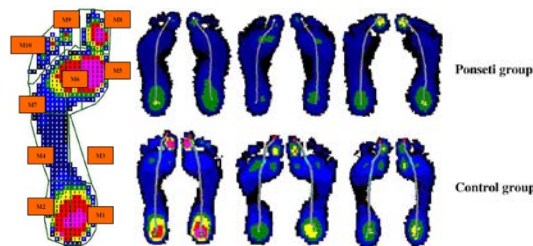


Figura 5. División de la superficie plantar. Resultados de picos de presión del grupo con pie equino varo y de control que muestra el ensanchamiento de las zonas posteriores y medias con una zona de presión reducida sobre el retropié en el grupo de Ponseti.

5. Objetivos

Objetivo general: Determinar las fuerzas producidas por la restitución de los tendones y estructuras asociadas en la recidiva (plantiflexión y aducción) del pie equino varo en niños que estén usando la férula post-tratamiento Ponseti en la ciudad de Santiago de Cali.

Objetivos específicos

- Examinar los estudios nacionales e internacionales realizados actualmente sobre la recidiva del pie equino varo y las técnicas usadas para la adquisición de datos en el estudio de las extremidades inferiores.
- Analizar las tecnologías disponibles y las que se pueden desarrollar para la adquisición de datos de fuerza generados por presión.

- Diseñar e implementar un dispositivo de adquisición de datos con los recursos disponibles en la Universidad Autónoma de Occidente.
- Obtener las fuerzas del pie cuando se realice la plantiflexión y la aducción.

6. Materiales y métodos

Población y muestra: Es necesario la colaboración de 10 voluntarios, 5 bebés con pie equino varo y 5 bebés sin la patología, los cuales van a servir de control. El promedio de las edades será de 6.5 meses (SD=3.27), el peso 7.33 kg (SD=1.11) y la talla 66.3 cm (SD=4.62), según se determinó en un estudio previo.

Instrumentos: Se hace uso de un FSR (Sensor de Fuerza Resistivo Circular), el cual varía su resistencia con respecto a la fuerza aplicada.

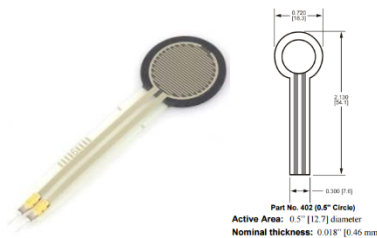


Figura 6. FSR (Sensor de Fuerza Resistivo Circular) SEN-09673 de 5”.

Se conectó el sensor de fuerza resistivo circular SEN-09673 en un divisor de voltaje con una resistencia de 10k Ω . Este circuito se conectó a la entrada análoga del microcontrolador Arduino UNO y se alimentó con 5V. Los datos se obtienen en niveles de tensión comprendidas entre 0V y 5V.

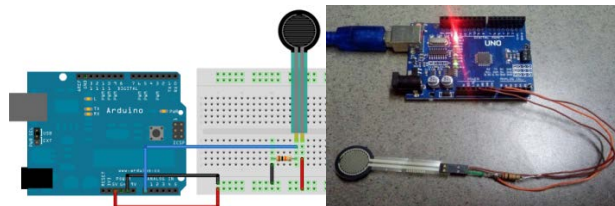


Figura 7. Conexión del FSR con el microcontrolador Arduino UNO.

La caracterización del sensor se hizo mediante la ubicación de masas calibradas partiendo de 100 g hasta 1000 g cada 50g.



Figura 8. Caracterización del sensor de fuerza FSR

Procedimientos: Se considera inicialmente realizar un estudio preliminar sobre la patología mencionada anteriormente y las estructuras anatómicas involucradas tanto en la deformación del pie inicial, como las causantes de la recidiva.

Posteriormente y siguiendo con estudios preliminares realizados en esta misma área, se buscarán 5 sujetos de control y 5 sujetos que estén usando la férula post-tratamiento Ponseti y que el especialista considere estén presentando algún tipo de reaparición de la deformidad del pie.

Se realiza una descripción de la clase de recidiva que presentan los sujetos con la patología, igual que las características y estados de las estructuras que componen la extremidad afectada. Por medio de un dispositivo desarrollado de acuerdo a estudios previos sobre la patología y recursos disponibles capaces de obtener las fuerzas de manera más adecuada, se proceden a hacer las pruebas en los voluntarios.

Se ubicará el sensor dentro de la férula, en la parte del pie que realice el movimiento de plantiflexión, e igualmente con la aducción, por un periodo de tiempo prudente para capturar la fuerza máxima generada por estos movimientos, se estima que será de aproximadamente de 20 a 30 minutos.

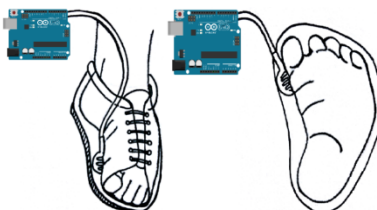


Figura 9. Ubicación del sensor en pie.

Posteriormente, se analizarán los datos de información apropiada que permitan la identificación específica de las fuerzas requeridas. Los datos obtenidos por el sensor de fuerza pasarán a un programa elaborado en lenguaje Java, construido en el programa NetBeans 8.0.2, el cual lee el dato generado por la comunicación serial de Arduino y lo transforma en Newtons. Seguido, el dato arrojado se grafica en tiempo real, y se almacenan los resultados en un archivo .txt.

Finalmente se presenta un informe en el que se recoja toda la información obtenida del estudio realizado.

Consideraciones éticas: A cada uno de los voluntarios se le hace firmar un consentimiento informado, que contiene la explicación del procedimiento y las consideraciones éticas que conlleva el proyecto.

7. Referencias

- Fernández, J. (2012). Fichas de Patología Ortopédica. Universitat de Lleida. Recuperado de: https://books.google.com.co/books?id=gfTV_m1-s6gC&pg=PA255&lpg=PA255&dq=fuerza+restituci%C3%B3n+de+tendones+pie&source=bl&ots=F3thL4dKbK&sig=2n5HWZz29D3HVzDKr3V14iHfxYr&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjzPpFQsPjOAhUJqx4KHRsyAjoQ6AEIRDAI#v=onepage&q=pie%20equino%20varo&f=false
- Herd, F., Macnicol, M., & Abboud, R. J. (2004). The need for biomechanical evaluation in the assessment of clubfoot. *Foot*, 14(2), 72-76. doi:10.1016/j.foot.2003.12.004
- Kammardi, P. K., Sondur, K. D., Dinesh, N. S., Nori, C. R., Madhuri, V., & Chilbule, S. (2015). Compliance monitored clubfoot brace "PADMAPADA"© doi:10.1007/978-81-322-2229-3_47
- Morales, M. (2011). Electroestimulación en el tratamiento de pacientes pediátricos con pie equino varo aducto congénito postoperados. Trabajo de grado maestría en ciencias de la salud. Mexico D.F. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Medicina. 53 p.
- Ochoa. G. (1996). Pie Equino Varo Congénito Idiopático. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, 10(2), 112-140. Recuperado de: <https://encolombia.com/medicina/revistas-medicas/ortopedia/vo-102/orto10296piequino6/>
- Pirani, S., Dietz, F., Morcuende, J., Mosca, V., Herzenberg, J., Weinstein, S., Norgrove, P., & Steenbeek, M. (2003). Pie Zambo - el método de Ponseti. Efecto del enyesado semanal de Ponseti. *Global Help Publication*, 3(1), 32. Recuperado de: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion/metodo_ponseti.pdf
- Rosselli, P. (2006). El método de Ponseti para la corrección de las deformidades en el pie equino varo congénito. Sección V Ortopedia infantil [en línea]. En: *Revista Digital Sociedad Colombiana de Cirugía Ortopédica y traumatología SCCOT*, 21(2), 63 – 64. Recuperado de: <http://www.sccot.org.co/pdf/RevistaDigital/20-02-2006/11Metodo.pdf>
- Salazar-Torres, J. J., McDowell, B. C., Humphreys, L. D., & Duffy, C. M. (2014). Plantar pressures in children with congenital talipes equino varus-A comparison between surgical management and the ponseti technique. *Gait and Posture*, 39(1), 321-327. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.07.119
- Sinclair, M. F., Bosch, K., Rosenbaum, D., & Böhm, S. (2009). Pedobarographic analysis following ponseti treatment for congenital clubfoot. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 467(5), 1223-1230. doi:10.1007/s11999-009-0746-5

- Thacker, M. M., Scher, D. M., Sala, D. A., Van Bosse, H. J. P., Feldman, D. S., & Lehman, W. B. (2005). Use of the foot abduction orthosis following ponseti casts: Is it essential? *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 25(2), 225-228. doi:10.1097/01.bpo.0000150814.56790.f9
- Uglow, M. G., & Kurup, H. V. (2010). Residual clubfoot in children. *Foot and Ankle Clinics*, 15(2), 245-264. doi:10.1016/j.fcl.2010.01.003

Sobre los autores

- **María Isabel Montenegro Muñoz:** Ingeniera Biomédica, Joven Investigadora Universidad Autónoma de Occidente. mimontenegro@uao.edu.co
- **Óscar Iván Campo Salazar:** Ingeniero Mecánico, Máster en Ingeniería Mecánica, Doctor en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Docente Universidad Autónoma de Occidente. oicampo@uao.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)