

ESTUDIO CINEMÁTICO EN 2D DE LA MARCHA EN ESTEPAGE

Sergi Sacristán Valero¹, Josep Concustell Gonfaus^{2,3}, Artur Crespo Martínez², Mireia Galimany Valldosera², Esther Querol Martínez²

1. Profesor titular. Departamento Podología. Universidad de Barcelona. Director del Postgrado de Ortopodología Clínica.

2. Profesores del Postgrado de Ortopodología Clínica.

3. Profesor asociado. Departamento Podología. Universidad de Barcelona. Director del Postgrado de Ortopodología Clínica.

CORRESPONDENCIA

Sergi Sacristán Valero
Campus Universitari de Bellvitge
Pavelló de Govern 1ª Planta.
Despacho 1133.
C/Feixa Llarga s/n.
08907 L'Hospitalet de Llobregat.
Barcelona

RESUMEN

El presente estudio analiza la marcha de ocho pacientes afectos de marcha estepage que inicialmente no han llevado ningún tratamiento ortopédico y que posteriormente han sido tratados con férulas Jousto a las que se les modificó el soporte plantar de serie realizando uno personalizado. Se sometió a los pacientes a un protocolo de grabación de video y de análisis de la marcha sin férula y con férula de Jousto personalizada. Se tuvieron en cuenta, para el análisis posterior, los siguientes parámetros: tiempo de apoyo, cadencia de marcha y ángulo pierna-pie en el momento del contacto de talón.

Los datos se obtuvieron con el programa TCD sportsupport 2006 que permite el análisis de las imágenes de video fotograma a fotograma. Antes de realizar la grabación de la deambulación de los pacientes se les colocó una serie de marcadores reflectantes situados en la cabeza del peroné, maleolo-peroneal y en la puntera del zapato.

Los resultados obtenidos han confirmado la hipótesis inicial de mejora en la deambulación y la autonomía de dichos pacientes. En la mayoría de los casos se constató una mejora sustancial en los tres parámetros estudiados, aproximándose de manera significativa a los parámetros que determinan una marcha normalizada.

ABSTRACT

We analysed the gait of eight patients with Steppage gait and who had not had orthopaedic treatment. These patients were treated with customized insoles attached to the Jousto splint.

Patients underwent a protocol for video recording and for analysis of the gait with customized Jousto for each patient and without it. We consider the following parameter for further analysis: time of support, cadence of gait and leg-foot angle at the moment of the heel contact.

The data were obtained with the TCD sportsupport 2006 that allows the analysis of video images frame by frame. Before recording the gait of each patient we placed on them a series of reflective markers located on the fibula's head, peroneal malleolus and the toecap of the shoe.

The results confirms the initial hypothesis. The gait and the autonomy of this patients were improved. In most cases a substantial improvement was confirmed in the three parameters studied which were found to be significantly closer to the parameters that indicate a normal gait.

PALABRAS CLAVES

Férula Jousto, marcha en steppage, soporte plantar personalizado, estudio cinemático en 2D (TCD 2006).

KEY WORDS

Jousto, steppage gait, 2D Kinematic study (TCD 2006).

INTRODUCCIÓN

La marcha en estepage se caracteriza por la dificultad para flexionar dorsalmente el pie, por parálisis de los músculos de la región anteroexterna de la pierna.

La parálisis puede deberse a una lesión del nervio ciático poplíteo externo, a una lesión medular o a una lesión de la cola de caballo. Las enfermedades que con mayor frecuencia dan lugar a este tipo de marcha son la polineuritis, la amiotrofia de Charcot-Marie-Tooth, algunas secuelas de la poliomielitis y la esclerosis lateral amiotrófica de tipo Marie y Patricios, por atrofia del ensanchamiento lumbosacro de la médula.

En la marcha de tipo estepage el pie cae en equino y, para compensar este defecto, durante la marcha el paciente debe flexionar la cadera y elevar el muslo para levantar el pie en la fase de despegue, y luego vuelve a apoyarlo empezando por los dedos. O sea, el paciente dispone de dos mecanismos compensatorios para evitar que la caída del pie interfiera de forma notable en la marcha:

1. Incremento de la flexión de la cadera.
2. Incremento de la flexión de la rodilla.

Cuando estos mecanismos no son suficientes queda una tercera posibilidad que es inclinar el tronco hacia el lado contralateral para facilitar el desplazamiento de la extremidad hacia delante sin rozar con el suelo.

Estos mecanismos compensatorios solamente son efectivos si la lesión provoca una discreta alteración de la marcha. Cuando la alteración ya es más severa se requieren ayudas externas que sustituyan la función de los músculos tibial anterior y peroneos.

El tratamiento ortopédico de esta alteración se realiza mediante la aplicación de férulas.

En la actualidad, la mayoría de los pacientes con marcha en estepage son tratados con férulas pasivas tipo Rancho de los Amigos, articuladas (lateral o posteriormente), o con férulas activas estándar (Jousto), como tratamiento ortopédico de elección.

La bibliografía consultada hace referencia estudios realizados con férulas pasivas o activas, pero ninguno de ellos referido a férulas de Jousto.

Llevamos 15 años aplicando férulas de Jousto (Fig. 1) y los pacientes que las utilizan refieren un grado de satisfacción importante, tanto por la mejoría en la deambulación normal, para subir escaleras, como por su bajo peso y estructura sencilla, que permite llevar cualquier tipo de calzado o zapatilla deportiva, dando lugar a una prestación terapéutica muy discreta. Siempre hemos sustituido el soporte plantar de serie por uno totalmente personalizado y hasta día de hoy no habíamos intentado cuantificar ninguno de los resultados obtenidos.

Por este motivo, en el presente estudio pretende analizar la biomecánica de la marcha en estepage sin y con la aplicación de una férula de Jousto con plantilla personalizada para poder cuantificar los datos que durante años habíamos ido observando.



Fig. 1. Férula de Jousto con soporte estándar.

MATERIAL Y METODO

MATERIAL

El presente trabajo se ha efectuado contando con la colaboración (previo consentimiento) de 8 sujetos afectados con marcha en estepage de diferente etiología derivados del Departamento de Neurología el Hospital Príncipes de España de Bellvitge, 4 hombres y 4 mujeres.

Para el estudio se utilizaron férulas de Jousto con soporte plantar de serie que fue sustituido por soportes personalizados (adaptados sobre molde de yeso, con las correcciones obtenidas en descarga) de termoplástico (ortholen 3mm).

Las férulas de Jousto se definen como ortesis anti-equina dinámica con fleje lateral y plantilla termoplástica. Está indicada para todas aquellas patologías que presenten una marcha en estepage o en pies equinos con movilidad pasiva de tobillo.

La férula Jousto levanta y sostiene el pie incapacitado durante la fase de oscilación haciendo posible un paso más normal y ergonómico.

MÉTODO

Para el estudio en 2D se utilizó una cámara de video CANON modelo MV790, colocada perpendicularmente a la trayectoria de la marcha del sujeto en cuestión, filmando tronco y extremidades. Para poder localizar con facilidad las estructuras anatómicas, se colocaron marcadores reflectantes en los siguientes puntos (Fig. 2):



Fig. 2. Ángulo Pierna-Pie.

- 1.- Cabeza de peroné.
- 2.- Maleólo peroneal.
- 3.- Extremo de la puntera del calzado.

Las diferentes mediciones se han efectuado mediante el programa informático TCD SportSupport. (Fig.3) 2006. El programa informático TCD SportSupport 2006 permite comparar dos películas simultáneamente y realizar cálculos de diferentes valores: posición, distancia, ángulos, velocidad y centro de masas.

Inicialmente el objetivo fue comparar los resultados obtenidos con la utilización de la férula de Jousto estándar y la férula de Jousto personalizada. De los ocho sujetos que intervinieron en el presente estudio solamente uno de ellos se adaptó a la utilización del soporte de serie de la férula de Jousto, por lo que se desestimó llevar a cabo el proyecto inicial.



Fig. 3. Captura de pantalla del programa TCD SportSupport.

Aunque no se pudo llevar a cabo el estudio comparativo diseñado, con los datos obtenidos con la utilización de la férula de Jousto personalizada, se creyó oportuno estudiar como se modificaban los siguientes parámetros:

- 1.- Contacto inicial.
- 2.- Cadencia de la marcha.
- 3.- Tiempo de apoyo.

Por lo tanto se ha realizado una comparación de la marcha del mismo sujeto con y sin aplicación de la férula de Jousto personalizada. Debido a la afectación bilateral de 5 de los pacientes, para el estudio de los datos se ha tomado como muestra independiente cada una de las extremidades.

Para ver como se modifica el contacto inicial se toma como referencia el ángulo pierna pie. Para definir este ángulo tomamos como referencia la cabeza del peroné, el maléolo peroneal y el extremo distal del calzado.

En la cadencia de la marcha tomamos como referencia el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del pie estudiado y el contacto inicial del pie contralateral.

Aunque el tiempo de apoyo está definido como el transcurrido entre el despegue y apoyo de talón del pie contralateral, dado que en la imagen de filmación en ocasiones nos será difícil visualizar estos dos momentos, tomamos como tiempo de apoyo el transcurrido entre el contacto total y el despegue del talón del pie en estudio.

RESULTADOS

Una vez analizadas las diferentes imágenes los resultados obtenidos son los siguientes:

ÁNGULO DE CONTACTO INICIAL

El ángulo de contacto inicial de la extremidad inferior afecta disminuye sustancialmente con el uso de la férula de Jousto ante una marcha sin utilización del Jousto. Tabla I.

CADENCIA DE LA MARCHA

Para calcular la cadencia de la marcha utilizamos la fórmula:

$$\text{Cadencia} = 60 / \text{Tiempo transcurrido entre CI's}$$

Siguiendo la aplicación de la fórmula en los datos obtenidos, obtenemos la tabla II.

TIEMPO DE APOYO

Para calcular el tiempo de apoyo, dado que en la imagen de filmación en ocasiones nos será difícil visualizar el despegue y el contacto del pie contralateral, tomamos como tiempo de apoyo el transcurrido entre el contacto total y el despegue del talón del pie en estudio. Ver tabla III.

Paciente	Media sin Jousto	Media con Jousto	Incremento grados
Caso 1	115,50	104,00	-11,50
Caso 2	103,50	97,50	-6,00
Caso 3	101,00	99,50	-1,50
Caso 4	99,67	84,33	-15,33
Caso 5	101,29	92,00	-9,29
Caso 6	117,80	107,50	-10,30
Caso 7	100,00	97,00	-3,00
Caso 8	108,00	105,50	-2,50
Caso 9	107,25	98,00	-9,25
Caso 10	113,00	103,50	-9,50
Caso 11	113,00	102,00	-11,00
Caso 12	96,00	100,25	4,25
Caso 13	99,00	94,67	-4,33

PROMEDIO	105,77±7,14	98,90 ± 6,20	-6,87 ± 5,28
----------	-------------	--------------	--------------

Tabla I. Diferencia de la media del ángulo pierna-pie con y sin jousto.

Paciente	Cadencia sin Jousto	Cadencia con Jousto	Incremento Pasos/min
Caso 1	3,48	3,19	-0,29
Caso 2	2,42	3,95	1,53
Caso 3	2,56	4,05	1,49
Caso 4	5,09	5,36	0,27
Caso 5	4,74	5,00	0,26
Caso 6	5,01	4,47	-0,54
Caso 7	4,41	4,13	-0,28
Caso 8	3,57	4,17	0,60
Caso 9	2,49	3,34	0,85
Caso 10	2,17	3,34	1,17
Caso 11	3,41	3,68	0,27
Caso 12	4,20	4,12	-0,08
Caso 13	4,11	4,02	-0,09

PROMEDIO	3,67±1,02	4,06 ± 0,63	0,40 ± 0,69
----------	-----------	-------------	-------------

Tabla II. Cadencia con y sin jousto.

Paciente	Media tiempo apoyo sin Jousto	Media tiempo apoyo con Jousto	Incremento seg.
Caso 1	20,82	22,43	1,62
Caso 2	30,00	17,46	-12,54
Caso 3	32,60	16,80	-15,80
Caso 4	13,20	12,00	-1,20
Caso 5	13,20	12,40	-0,80
Caso 6	12,80	14,80	2,00
Caso 7	15,20	16,60	1,40
Caso 8	18,00	16,60	-1,40
Caso 9	26,90	21,06	-5,83
Caso 10	29,60	20,00	-9,60
Caso 11	19,76	17,92	-1,84
Caso 12	16,13	16,80	0,66
Caso 13	16,40	16,60	0,20
PROMEDIO	20,35 ± 7,05	17,03 ± 2,99	-3,32 ± 5,82

Tabla III. Tiempo de apoyo con y sin jousto.

DISCUSIÓN

Tal como esperábamos, en los resultados obtenidos observamos que, en la mayoría de los casos, el ángulo pie-pierna de la extremidad inferior afecta disminuye. Esta disminución es de una media -6,87° con una DS de +/- 5,28° en el contacto inicial con el uso de la férula de Jousto. Al disminuir éste ángulo, la marcha se acerca más a la normalidad.

En lo que se refiere a la cadencia, los resultados indican que la cadencia con jousto es superior que sin jousto. La media es de 0,40 con una DS de +/- 0,69. Es decir, el incremento es de un 10,62 %, por lo tanto es de esperar un aumento de la velocidad.

Por último, el tiempo de apoyo disminuye en ocho de los trece casos, en total una media de -3,32 seg. ± 5,82. Por lo tanto el tiempo de apoyo disminuye un 16,30 %.

Al aumentar la cadencia de la marcha, aumenta la velocidad. Si aumenta la velocidad de la marcha disminuirá el tiempo de apoyo en la misma medida. En este caso vemos que la disminución del tiempo de apoyo es mayor que el incremento de la cadencia, por lo que pensamos que también disminuye el tiempo de la fase de oscilación. Esto indicaría que los mecanismos de compensación, flexión de rodilla y de cadera, no son tan amplios.

Por lo tanto, la aplicación del jousto estabiliza el pie afecto y por lo que dicha extremidad necesita menos tiempo de apoyo para que la extremidad contralateral la sobrepase.

Hay que tener en cuenta que en una afectación neurológica el apoyo del pie no es correcto. Por una parte, las desviaciones de los ejes del retropié y mediopié en pronación y supinación y, por otra parte la huella escavada. Debido a estas dos causas, la información propioceptiva no se recibe correctamente.

La aplicación de un soporte plantar personalizado estimula la propiocepción al mejorar la posición del pie proporcionando los estímulos adecuados. Además permite una mejora de la acción dorsiflexora del Jousto al evitar que el pie entre en supinación o pronación en el contacto inicial.

Otra de las ventajas que presenta la aplicación de estas férulas activas es que el sistema de flejes está diseñado de manera que funciona como una "articulación flotante" para prevenir distrofias articulares y/o musculares del tobillo.

CONCLUSIONES

El ángulo de contacto inicial disminuye, el tiempo de apoyo se reduce y la cadencia aumenta. Los tres parámetros estudiados mejoran con la aplicación de una férula de Jousto con el soporte plantar personalizado, por lo tanto la marcha se acerca a la normalidad con todo lo que ello supone, un menor gasto energético, mayor autonomía.

El grado de aceptación de la férulas de Jousto con soporte plantar personalizado es superior frente al de las férula de Jousto con soporte de serie ya que fueron sustituidos a petición del paciente por su inadaptación.

Desde años llevamos personalizando los soportes plantares de las férulas de Jousto y durante todos ellos hemos observado que la gran mayoría de pacientes refieren un gran cambio respecto a la férula rancho, por su ligereza y por su articulación que provoca una ayuda activa a la flexión dorsal que ellos han perdido. Siempre referirán un tiempo inferior en sus recorridos y una menor deformación del calzado. Por todos estos motivos durante 6 años hemos intentado transmitir esta forma de trabajo a nuestros alumnos de postgrado para intentar que este avance que hoy hemos intentado demostrar estadísticamente, siga adelante.

BIBLIOGRAFÍA

1. Silberman FS, Varona O. Ortopedia y Traumatología. Editorial Médica Paramericana, S.A. 2003. 2ª Edición. 255
2. Buckon CE, Thomas SS, Jakobson-Huston S, Moor M, Sussman M, Aiona M. Comparison of three ankle-foot orthosis configurations for children with spastic diplegia. *Dev Med Child Neurol*. 2004 Sep;46(9):590-8.
3. Cappa P, Patane F, Pierro MM. A novel device to evaluate the stiffness of ankle-foot orthosis devices. *J Biomech Eng*. 2003 Dec;125(6):913-7.
4. Churchill AJ, Holligan PW, WadenDT. Relative contribution of footwear to the efficacy of ankle-foot orthoses. *Clin Rehabil*. 2003 Aug;17(5):553-7.
5. Gök H, Kucukdeveci A, Altinkaynak H, Yavuzer G, Ergin S. Effects of ankle-foot orthoses on hemiparetic gait. *Clin Rehabil*. 2003 Mar;17(2):137-9.
6. Sienko Thomas S, Buckon CE, Jakobson-Huston S, Sussman MD, Aiona MD. Stair locomotion in children with spastic hemiplegia: the impact of three different ankle foot orthosis (AFOs) configurations. *Gait Posture*. 2002 Oct;16(2):180-7.
7. Mauritz KH. Gait training in hemiplegia. *Eur J Neurol*. 2002 May;9 Suppl 1:23-9; discussion 53-61.
8. Bill M, McIntosh R, Myers P. A series of case studies on the effect of a midfoot control ankle foot orthosis in the prevention of unresolved pressure areas in children with cerebral palsy. *Prosthet Orthot Int*. 2001 Dec;25(3):246-50.
9. Geboers JF, Drost MR, Spaans F, Kuipers H, Seelen HA. Immediate and long-term effects of ankle-foot orthosis on muscle activity during walking: a randomized study of patients with unilateral foot drop. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002 Feb;83(2):240-5.
10. Thompson NS, Taylor TC, McCarthy KR, Cosgrove AP, Baker RJ. Effect of a rigid ankle-foot orthosis on hamstring length in children with hemiplegia. *Dev Med Child Neurol*. 2002 Jan;44(1):51-7.
11. Romkes J, Brunner R. Comparison of a dynamic and a hinged ankle-foot orthosis by gait analysis in patients with hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture*. 2002 Feb;15(1):18-24.
12. Buckon CE, Thomas SS, Jakobson-Huston S, Sussman M, Aiona M. Comparison of three ankle-foot orthosis configurations for children with spastic hemiplegia. *Dev Med Child Neurol*. 2001 Jun;43(6):371-8.
13. Tyson SF, Thornton HA. The effect of a hinged ankle foot orthosis on hemiplegic gait: objective measures and users' opinions. *Clin Rehabil*. 2001 Feb;15(1):53-8.
14. Crenshaw S, Herzog R, Castagno P, Richards J, Miller F, Michaloski G, Moran E. The efficacy of tone-reducing features in orthotics on the gait of children with spastic diplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2000 Mar-Apr;20(2):210-6.
15. Abel MF, Juhl GA, Vaughan CL, Damiano DL. Gait assessment of fixed ankle-foot orthoses in children with spastic diplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1998 Feb;79(2):126-33.
16. Nahomiak MT, Gorton GE3rd, Gannotti ME, Masso PD. Kinematic compensations as children reciprocally ascend and descend stairs with unilateral and bilateral solid AFOs. *Gait Posture*. 1999 Jul;9(3):199-206.
17. Hachisuka K, Ogata H, Tajima F, Ohmine S. Clinical evaluations of dorsiflexion assist controlled by spring ankle-foot orthosis for hemiplegic patients. *J UOEH*. 1998 Mar 1;20(1):1-9.
18. Bakker JP, De Groot LJ, De Jong BA, Van Tol-De Jager MA, Lankhorst GJ. Prescription pattern for orthoses in The Netherlands: use and experience in the ambulatory phase of Duchenne muscular dystrophy. *Disabil Rehabil*. 1997 Aug;19(8):318-25.
19. Carlson WE, Vaughan CL, Damiano DL, Abel MF. Orthotic management of gait in spastic diplegia. *Am J Phys Med Rehabil*. 1997 May-Jun;76(3):219-25.
20. Rubin G, Cohen E. Prostheses and orthoses for the foot and ankle. *Clin Podiatr Med Surg*. 1988 Jul;5(3):695-719.
21. Kakurai S, Akai M. Clinical experiences with a convertible thermoplastic knee-ankle-foot orthosis for post-stroke hemiplegic patients. *Prosthet Orthot Int*. 1996 Dec;20(3):191-4.
22. Diamond MF, Ottenbacher KJ. Effect of a tone-inhibiting dynamic ankle-foot orthosis on stride characteristics of an adult with hemiparesis. *Phys Ther*. 1990 Jul;70(7):423-30.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Escuela de Enfermería de la U.B. por la concesión de una beca de investigación para financiar este proyecto.