



TESIS DOCTORAL

**Análisis de la Marcha en Pacientes con Pie Zambo Tratados
Mediante el Método de Ponseti Frente a la Técnica Quirúrgica
de Liberación Posterior**

Albert Ferrando de Jorge

Médico Especialista en Traumatología y Cirugía Ortopédica

Directores. Tutor

Marta Salom Taverner

Álvaro Felipe Page del Pozo

Carlos Atienza Vicente

María Fe Mínguez Rey

**Programa de doctorado: 3139 Medicina
Departamento de Cirugía
Facultat de Medicina i Odontologia
Universitat de València**

Septiembre 2018

A Jaime Prat. Gracias por confiar en mi y por brindarme la oportunidad de colaborar con el Instituto de Biomecánica de Valencia. Sin este nexo, este proyecto no sería lo mismo.

A todas las personas del Departamento de Traumatología Infantil del Hospital Universitari i Politècnic La Fe (adjuntos, enfermeras, secretarias, pacientes...) que de una manera u otra han sufrido mis andares por las consultas.

A Alex Pérez-Girbes, por su colaboración y predisposición en las medidas radiográficas. Al final, entre los dos, conseguimos descifrar la metodología para obtener cada parámetro.

A Pedro López. Por su paciencia y dedicación en el laboratorio de la marcha. Todas aquellas mediciones por las tardes/noches al final han tenido su fruto.

A Carlos y M^o Fe, por ayudarme durante las diferentes etapas de la tesis.

A Álvaro Page por su ayuda en los aspectos biomecánicos de la tesis. Ha sido un placer conocerte y aprender de ti. Ahora ya veo las cosas desde otra perspectiva.

A Marta Salom, por su dedicación a la traumatología infantil y a la investigación. Gracias por todos los consejos tanto en el desarrollo de este trabajo como durante los 5 años de residencia...Espero que continúes con ese espíritu docente durante muchos años más. Eres un ejemplo a seguir.

A mi hermana, gracias por enseñarme que es la valentía y la perseverancia. Siempre has luchado por tus sueños. Tu esfuerzo te ha permitido que en breves comiences un prestigioso doctorado en la Universidad de Reading. Este trabajo está dedicado en parte a ti.

A mi madre, por su energía y positivismo (incluso cuando el vaso realmente está vacío). Gracias por todo lo que me has ofrecido y más.

Finalmente, a Maria. Gracias por acompañarme en cada paso de la vida. Siempre has sido un referente en hacer las cosas bien, pensar en los demás y ayudarme a crecer como persona. Definitivamente este trabajo no hubiera sido posible sin tu apoyo.

Al meu pare, per tots els moments que vam poder compartir

ÍNDICE

Índice de Contenidos

1. Resumen.....	27
2. Introducción.....	33
2.1 Pie zambo idiopático. Concepto y epidemiología.....	35
2.2 Etiología.....	36
2.3 Deformidad del pie zambo.....	38
2.4 Tratamiento conservador.....	44
2.4.1 Método Ponseti.....	44
2.4.2 El método francés.....	51
2.4.3 El método de Kite.....	52
2.5 Tratamiento quirúrgico.....	54
2.5.1 Liberación posterior	55
2.5.2 Liberaciones extensas: liberación posteromedial y posterolateral.....	57
2.6 Pruebas de evaluación.....	61
2.6.1 Exploración física.....	61
2.6.2 Cuestionarios.....	63
2.6.3 Estudio radiográfico.....	65
2.6.4 Análisis biomecánico de la marcha.....	68
2.7 La marcha humana normal.....	68
2.8 El ciclo de la marcha.....	69
2.9 Biomecánica de la marcha.....	71
2.10 Estudio de la biomecánica de la marcha.....	73
2.10.1 Las variables espaciotemporales.....	73
2.10.2 Análisis de las curvas cinemáticas.....	76
2.10.2.1 Cinemática de la cadera en	

	el plano sagital.....	79
2.10.2.2	Cinemática de la cadera en el plano frontal.....	81
2.10.2.3	Cinemática de la cadera en el plano transversal.....	83
2.10.2.4	Cinemática de la rodilla en el plano sagital.....	84
2.10.2.5	Cinemática de la rodilla en el plano frontal.....	86
2.10.2.6	Cinemática de la rodilla en el plano transversal.....	87
2.10.2.7	Cinemática del tobillo en el plano sagital.....	88
2.10.2.8	Cinemática del tobillo en el plano coronal.....	91
2.10.2.9	Cinemática del tobillo en el plano transversal.....	92
2.10.3	Análisis de las curvas cinéticas.	
	Fuerzas de reacción del suelo.....	93
2.11	Factores que intervienen en la marcha.....	95
2.12	Causas de marcha patológica.....	96
2.13	La marcha del paciente con pie zambo tratado mediante cirugía extensa frente al método de Ponseti.....	98
2.14	Justificación.....	100
2.15	Objetivos.....	105

3. Material y método.....	107
3.1 Muestra de estudio.....	109
3.1.1 Verificación del tamaño muestral.....	113
3.1.1.2 Precisión en la descripción de variables.....	113
3.1.1.3 Potencia en la comparación de tratamientos.....	114
3.2 Protocolo de valoración de los pacientes.....	115
3.3 Anamnesis y exploración física.....	116
3.4 Cuestionarios.....	121
3.5 Parámetros radiográficos.....	123
3.5.1 Deformidad residual.....	123
3.5.2 Astrágalo plano.....	126
3.6 Laboratorio biomecánico.....	129
3.7 Registro y tratamiento de los datos biomecánicos.....	135
3.7.1 El modelo biomecánico de la marcha.....	135
3.7.2 Toma de medidas.....	138
3.7.2.1 Medida de calibración.....	138
3.7.2.2 Medida de referencia.....	140
3.7.2.3 Medida de un ciclo de la marcha del paciente.....	141
3.7.3 Variables de análisis de cinemática y cinética de la marcha.....	147
3.7.4 Normalización.....	152
3.8 Variables para analizar mediante estudio	

estadístico.....	154
3.8.1 Análisis demográfico de los grupos a estudio.....	154
3.8.2 Comparación recidiva de la deformidad entre los grupos patológicos.....	154
3.8.3 Examen físico.....	155
3.8.4 Cuestionarios.....	155
3.8.5 Parámetros radiográficos.....	155
3.8.5.1 Deformidad estática.....	155
3.8.5.2 Artrosis.....	155
3.8.5.3 Astrágalo plano.....	156
3.8.6 Parámetros espaciotemporales.....	156
3.8.7 Cinemática.....	157
3.8.7.1 Descripción de las curvas.....	157
3.8.7.2 Análisis visual de la información.....	157
3.8.8 Cinética. Fuerzas de reacción del suelo.....	159
3.9 Tratamiento estadístico.....	160
4 Resultados.....	163
4.1 Características demográficas y tasa de recidiva....	165
4.2 Examen físico.....	168
4.3 Cuestionarios.....	171
4.4 Resultados radiológicos.....	174
4.5 Resultados espaciotemporales.....	178

4.6	Resultados cinemáticos y cinéticos.....	182
4.6.1	Análisis individual de las curvas cinemáticas.....	182
4.6.2	Análisis de la media por grupo de las curvas cinemáticas.....	188
4.6.2.1	Cadera.....	188
4.6.2.2	Rodilla.....	192
4.6.2.3	Tobillo.....	195
4.6.3	Análisis de la media por grupo de las curvas cinéticas.....	198
4.6.3.1	Fuerzas de reacción del suelo.....	198
4.6.3.2	Momento a nivel del tobillo.....	202
4.6.4	Marcha normal.....	203
4.6.5	Astrágalo plano. Cinemática y cinética....	203
5	Discusión.....	209
6	Conclusiones.....	241
7	Referencias bibliográficas.....	247
8	Anexos.....	271
8.6	Anexo 1. Autorización	
8.7	Anexo 2. Base de datos	
8.8	Anexo 3. Plantilla	
8.9	Anexo 4. HIP	
8.10	Anexo 5. Consentimiento informado	
8.11	Anexo 6. PODCI	

Lista de símbolos, abreviaturas y siglas

AOFAS- The American Orthopedic Foot and Ankle Score

AP- Anteroposterior

DS- Desviación estándar

E.F- Exploración física

FADI- Foot and Ankle Disability Index Score

g- 9.8 m/s^2

HUPLaFe- Hospital Universitario y Politécnico La Fe de

IBV- Instituto de Biomecánica de Valencia

L- Longitud del miembro inferior

LAT- Lateral

LP- Liberación posterior

m- Metros

MATLAB- Matrix Laboratory

n- Número de pacientes

NHC- Número de historia clínica

P- Método de Ponseti

PODCI- Pediatric Outcomes Data Collection Instrument

s- Segundos

SIP- Sistema de información poblacional

Valencia

SPSS- Statistical passage for the social sciences

Var- Variable

Var_n- Variable normalizada

Lista de tablas y figuras

Tablas

- Tabla 1. Características demográficas
- Tabla 2. Comparación de la tasa de recidiva en los grupos patológicos
- Tabla 3. Examen físico
- Tabla 4. Cuestionarios en los pacientes con pie zambo. Liberación posterior vs Ponseti
- Tabla 5. Resultados radiológicos. Ángulos de los pies patológicos
- Tabla 6. Número de pies con artrosis
- Tabla 7. Parámetros espaciotemporales
- Tabla 8. Evaluación visual de la información cinemática. Número de pies (%)

Figuras

- Figura 1. Pie normal a la izquierda y pie zambo idiopático a la derecha.
- Figura 2. Plano coronal. Relación entre el astrágalo y el calcáneo en un pie normal frente a un pie zambo.
- Figura 3. Plano transversal. Desplazamiento lateral del astrágalo en el pie zambo.

- Figura 4. Clasificación de Pirani.
- Figura 5. Clasificación de Dimeglio.
- Figura 6. Corrección del cavo mediante la supinación del antepié y elevación del primer metatarsiano. Es importante supinar y abducir simultáneamente.
- Figura 7. Abducción del antepié frente a una presión ejercida en la cabeza del astrágalo.
- Figura 8. Botas para tratamiento del pie equinovaro.
- Figura 9. Posición de los pies con la ortesis de Denis Browne.
- Figura 10. Proceso secuencial del vendaje funcional.
- Figura 11. Fulcro de apoyo erróneo en la articulación calcaneocuboidea.
- Figura 12. Paciente operado de pie zambo bilateral donde se aprecia la cicatriz de la incisión longitudinal de la liberación posterior.
- Figura 13. Incisión transversa circunferencial tipo Cincinnati descrita por Crawford et al.
- Figura 14. Incisión posteromedial y paso de la aguja Kirschner mientras se mantiene la reducción.
- Figura 15. Radiografías postoperatorias anteroposterior y lateral.
- Figura 16. Las 8 subfases del ciclo de la marcha.
- Figura 17. Subdivisión de la fase de apoyo.
- Figura 18. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el

plano sagital a nivel de la cadera (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 19. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano frontal a nivel de la cadera (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 20. Media de todas las curvas individuales de un grupo control ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la cadera (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 21. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano sagital a nivel de la rodilla (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 22. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano frontal a nivel de la rodilla (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 23. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la rodilla (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 24. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el

plano sagital a nivel del tobillo (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 25. Correlación en el tiempo entre la cinemática del tobillo en el plano sagital y la marcha en una persona.

Figura 26. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano frontal a nivel del tobillo (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 27. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano transversal a nivel del tobillo (línea negra \pm turquesa y roja).

Figura 28. Gráfica de las fuerzas. En azul se representan las fuerzas verticales, en rojo las medio-laterales y en verde las antero-posteriores.

Figura 29. Paciente sobre el podoscopio donde se aprecia el valgo del retropié bilateral, más pronunciado sobre el lado izquierdo.

Figura 30. En el mismo paciente, vemos la incisión de la vía de abordaje de la liberación posterior y el valgo excesivo del retropié.

Figura 31. Visión del podoscopio para ver la huella plantar.

- Figura 32. Proyección anteroposterior de ambos pies en carga con las correspondientes medidas radiográficas.
- Figura 33. Proyección lateral de ambos pies en carga con las correspondientes medidas radiográficas (en este caso el ángulo astrágalo-calcáneo).
- Figura 34. Pie zambo idiopático sin astrágalo plano.
- Figura 35. Pie zambo idiopático con astrágalo plano.
- Figura 36. Paciente realizando el análisis de la marcha en laboratorio de análisis biomecánico en el Hospital Universitario i Politécnico La Fe.
- Figura 37. Cámara Optitalk 250 SE.
- Figura 38. Marcadores de diferentes tamaños.
- Figura 39. Imagen del investigador principal y el fisioterapeuta durante la revisión de la toma de medidas.
- Figura 40. Configuración del laboratorio del HUPLaFe.
- Figura 41. Modelo biomecánico de la marcha constituido por 35 marcadores, que define los segmentos del tronco, pelvis, muslo, pierna y pie.
- Figura 42. Investigador principal colocando los marcadores.
- Figura 43. Paciente situado en el laboratorio en posición anatómica.
- Figura 44. Paciente que acaba de realizar el apoyo del pie derecho.

- Figura 45. Paciente finalizando el ciclo de la marcha del pie derecho.
- Figura 46. Visualización de la medida realizada sin digitalización de los marcadores.
- Figura 47. Visualización de la medida realizada con digitalización de los marcadores.
- Figura 48. Aplicación del programa NegGait realizada explícitamente para el procesamiento de las coordenadas de los marcadores y la extracción de los parámetros cinemáticos y cinéticos de interés.
- Figura 49. Resultados exportados de NegGait a una hoja de cálculo Excel.
- Figura 50. Visualización del programa Kinescan, mostrando la longitud de paso del miembro afectado, en este caso, miembro derecho.
- Figura 51. Visualización del programa Kinescan, mostrando la longitud de paso del miembro sano, en este caso, miembro izquierdo.
- Figura 52. Visualización del programa Kinescan, mostrando el ancho de paso de la marcha.
- Figura 53. Ejemplo del pie número 24 (línea roja continua) del grupo Ponseti.
- Figura 54. Ejemplo del pie número 3 (línea roja continua) del grupo Liberación posterior.

Figura 55. Ejemplo del pie número 16 (línea roja continua) del grupo Ponseti.

Figura 56. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano coronal a nivel de la cadera.

Figura 57. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano sagital a nivel de la cadera.

Figura 58. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la cadera.

Figura 59. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano coronal a nivel de la rodilla.

Figura 60. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano sagital a nivel de la rodilla.

Figura 61. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la rodilla.

Figura 62. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano coronal a nivel del tobillo.

- Figura 63. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano sagital a nivel del tobillo.
- Figura 64. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano transversal del tobillo.
- Figura 65. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje anteroposterior de los grupos patológicos y control ± 1 DS.
- Figura 66. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje medial-lateral de los grupos patológicos y control ± 1 DS.
- Figura 67. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje vertical de los grupos patológicos y control ± 1 DS.
- Figura 68. Curva de momento flexor/extensor del tobillo en el plano sagital.
- Figura 69. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los pacientes con astrágalo plano (DEF, línea verde) y ausencia de astrágalo plano (NO DEF, línea azul) y controles ± 1 DS en el plano sagital a nivel del tobillo.
- Figura 70. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los pacientes patológicos con y sin

deformidad del astrágalo y controles ± 1 DS en el plano coronal del tobillo.

Figura 71. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje anteroposterior de los pacientes con y sin deformidad del astrágalo y control ± 1 DS.

Figura 72. Curva de momento flexor/extensor del tobillo en el plano sagital.

RESUMEN

Objetivo:

El objetivo del estudio consiste en evaluar el progreso clínico en pacientes con pie zambo en la etapa de la preadolescencia (7-12 años) que fueron tratados mediante el método de Ponseti o la técnica quirúrgica de liberación posterior y comparar sus resultados con un grupo control a través de la evaluación de 4 módulos (examen físico, estudio radiográfico, cuestionarios y análisis de la marcha).

Material y Método:

Estudio retrospectivo de casos y controles aprobado por el Comité Ético de Investigación Biomédica. Los criterios de inclusión del estudio fueron todo paciente con diagnóstico de pie zambo congénito idiopático tratados con el método de Ponseti o liberación posterior entre 2004 y 2009. Los criterios de exclusión fueron pie zambo sindrómico, patología neuromuscular o neurológica, cirugías previas de miembros inferiores y/o pacientes con disimetrías >2 cm.

Grupo 1: 31 pacientes (45 pies patológicos) tratados mediante la técnica quirúrgica de liberación posterior.

Grupo 2: 22 pacientes (34 pies patológicos) tratados mediante el método de Ponseti.

Grupo 3: 25 pacientes control sin ninguna patología musculoesquelética ni neurológica.

Examen físico:

Se realizaron medidas de rango articular (movilidad pasiva), circunferencia de las pantorrillas, longitud del pie, talla y peso.

Cuestionarios:

Los padres completaron junto con los pacientes tres cuestionarios: Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI), Foot and Ankle Disability Index Score (FADI) y el American Orthopedic Foot and Ankle Score (AOFAS)

Análisis radiográfico:

Se realizaron proyecciones en carga anteroposterior y lateral de los pies y tobillos. Se evaluó el grado de deformidad residual, sobrecorrección y artrosis. También se identificaron el número de pacientes con astrágalo plano.

Análisis de la marcha:

El laboratorio estaba equipado con el sistema Kinescan/IBV V2014 con un sistema de 8 cámaras. Se realizó un análisis de parámetros espacio temporales, cinemáticos y cinéticos de la marcha.

Resultados:

Examen físico:

El grupo de liberación posterior presentó un menor rango de movilidad tanto en la dorsiflexión como en la flexión plantar del tobillo (con la rodilla en flexión) cuando se comparó con el grupo control, $p < 0,001$. Cuando se compararon los grupos patológicos entre sí, en la movilidad del tobillo, no se encontraron diferencias significativas. En cuanto a la circunferencia de la pantorrilla y la

longitud del pie, ambas mediciones fueron menores en los grupos patológicos que en el grupo control, $p < 0,001$.

Cuestionarios:

No se encontraron diferencias en los resultados globales del PODCI ($p=0,942$), FADI ($p=0,432$) ni AOFAS ($p=0,916$) entre los dos grupos de tratamiento

Análisis radiográfico:

El grupo de liberación posterior presentó una mayor proporción de pies con un ángulo astrágalo-calcáneo en la proyección lateral disminuido (68%) frente al grupo Ponseti (37%), indicando una mayor proporción de pies con una deformidad en varo del retropié no corregida en el grupo quirúrgico, $p=0,02$.

En cuanto a la artrosis, tanto los pies del grupo Ponseti como los del grupo de liberación posterior presentaron una baja prevalencia de artrosis a nivel del tobillo y del pie.

En un 51% de pies del grupo de liberación posterior y en un 48% de pies del grupo Ponseti se evidenció la presencia de astrágalo plano, $p=0,578$.

Análisis de la marcha:

El grupo Ponseti presentó una mayor cadencia (133 pasos/minuto) que el grupo de liberación posterior (123 pasos/minuto) y que se aproximaban más a la cadencia del grupo control (204 pasos/minuto), $p < 0,001$. En cuanto al tiempo de apoyo bipodal, se observó que el grupo de liberación posterior tuvo un mayor tiempo de apoyo bipodal (.56 segundos) frente al grupo Ponseti (.50 segundos), $p = 0,002$.

El grupo de liberación posterior presentó una mayor proporción de intoeing moderado o severo (27%) frente al grupo Ponseti (23%), $p=0,024$.

Un sujeto con una marcha normal se definió como aquel cuya extremidad inferior patológica presentara un patrón cinemático a nivel de la cadera, rodilla y tobillo dentro de ± 1 desviación estándar del patrón normal (media de los controles). Con esta definición, 4 pacientes (11%) del grupo de liberación posterior frente a 11 pacientes (33%) del grupo Ponseti presentaron una marcha normal, $p=0,016$.

Conclusión:

Los pacientes con pie zambo tratados con el método de Ponseti y la técnica quirúrgica de liberación posterior son altamente funcionales en este periodo de edad. Se encontraron ligeras diferencias entre los grupos de tratamiento en las que el método de Ponseti demostró tener una menor prevalencia de deformidad residual y una marcha más parecida al grupo control. Por ello mismo, se reafirma la evidencia que el método de Ponseti debe ser el tratamiento de elección (resultados similares sin necesidad de cirugía

INTRODUCCIÓN

2.1 Pie zambo idiopático. Concepto y epidemiología

El término pie equino varo congénito, también denominado talipes equinovaro o pie zambo, es una deformidad compleja de la extremidad inferior que afecta a los tres planos del pie y que se caracteriza por equino y varo del retropié, aducto del antepié y cavo (Figura 1). Junto con la displasia de cadera, el pie zambo es uno de los problemas más comunes entre las malformaciones congénitas en ortopedia pediátrica. La incidencia de esta patología es de 1 caso por cada 1000 recién nacidos vivos.^{1,2} Aproximadamente el 50% de los casos de pie zambo son bilaterales y no hay predominio entre lado derecho o izquierdo.² La incidencia en varones es más alta que en las mujeres, con una proporción de 3:1². No parece haber una asociación entre la gravedad de la deformidad y la lateralidad del pie afecto o el sexo del paciente.²

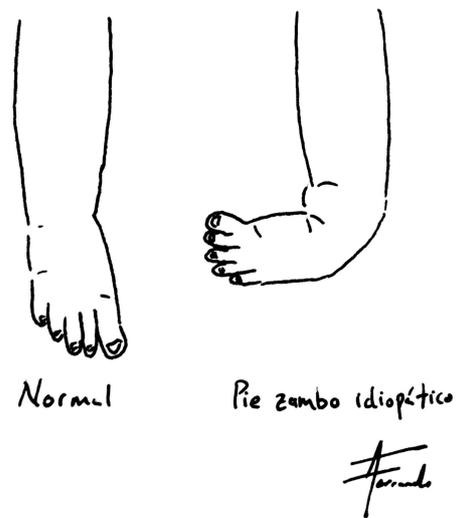


Figura 1. Pie normal a la izquierda y pie zambo idiopático a la derecha.

2.2 Etiología

La etiología del pie zambo es desconocida, si bien hay una serie de factores medioambientales y genéticos identificados, aunque la evidencia científica es inconsistente.³

Entre los factores medioambientales se ha señalado el tabaco y las infecciones víricas intrauterinas⁴. Un estudio reciente relaciona el fumar durante los tres primeros meses del embarazo con un aumento del riesgo de 2,67 veces con tener un niño afecto de pie zambo.⁵

Parece haber un componente genético que explicaría la mayor proporción en determinadas parejas que refieren un antecedente familiar positivo y mayor prevalencia en determinados grupos étnicos.⁶ La influencia genética se explica por un estudio realizado en hermanos gemelos donde la prevalencia de pie zambo fue mayor entre gemelos idénticos o monocigóticos (33%) que entre gemelos fraternos o dicigóticos (3%).⁶ En los casos familiares, esta descrito que la herencia de la enfermedad puede que sea de transmisión autosómica dominante con una penetrancia incompleta.⁷ En cuanto a los grupos étnicos, existe una menor prevalencia en China (0,39 casos de cada 1000 recién nacidos) y una mayor prevalencia en Hawái y Nueva Zelanda sobretodo en la cultura Maorí (7 casos por cada 1000 recién nacidos).^{5,8}

Existen teorías sobre la causa subyacente del pie zambo. Una de ellas se basa en la hipótesis de que existen alteraciones en el desarrollo muscular que producen cambios secundarios óseos.⁹ Esta descrito que los pacientes con pie zambo tienen una distribución anormal de las fibras musculares tipo I y tipo II.¹⁰ Otros autores abogan por la existencia de una alteración vascular porque los pacientes con pie zambo presentan una arteria tibial anterior deficiente y otras anomalías vasculares.¹¹

2.3 Anatomía del pie zambo

Hay que comprender la anatomía del pie zambo para poder tratar correctamente las diferentes deformidades. Las cuatro deformidades cardinales son el cavo, el aducto, el varo y el equino.

Las deformidades varían en gravedad, desde un pie zambo moderado tipo posicional que puede ser corregido pasivamente a la posición neutra hasta pies zambos complejos. Los pies zambos complejos se definen como aquellos con un equino rígido, flexión plantar severa de todos los metatarsianos y con un primer dedo corto y en hiperextensión.¹¹

En el pie zambo, el pie está desplazado y rotado medialmente por debajo del astrágalo (Figura 2). La cabeza del astrágalo se palpa en la parte lateral del dorso del pie debido al desplazamiento medial y posterior del navicular (Figura 3). El calcáneo se encuentra en una posición de equino con su porción anterior justo debajo de la cabeza del astrágalo. Esto es responsable de la deformidad en varo del retropié. El desplazamiento medial del navicular, cuboides, cuneiformes y metatarsianos contribuyen a los diferentes grados de aducción del antepié.

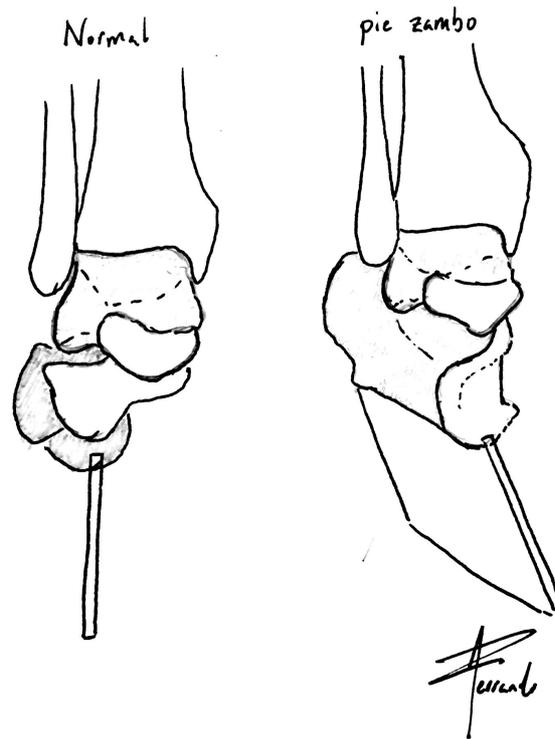


Figura 2. Plano coronal. Relación entre el astrágalo y el calcáneo en un pie normal frente a un pie zambo.

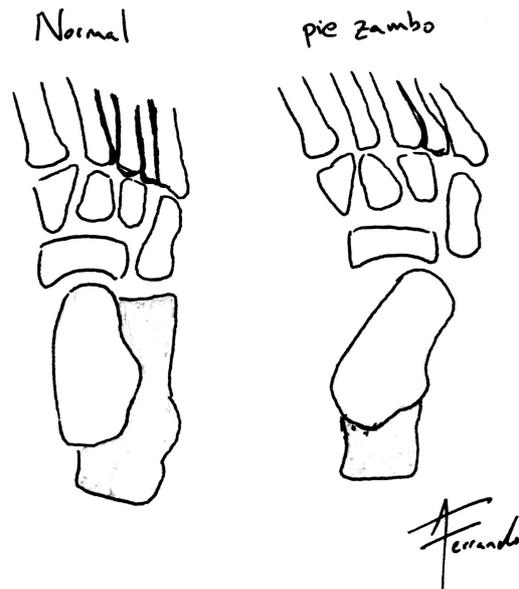


Figura 3. Plano transversal. Desplazamiento lateral del astrágalo en el pie zambo.

La deformidad en varo del calcáneo y la aducción del mediopié son responsables de la inversión. El antepié, también se encuentra en una posición de aducción e inversión, pero en menor grado que el retropié. Esto produce un aspecto de pronación del antepié con respecto al retropié y produce la deformidad en cavo. Por lo tanto, el cavo está producido por la mayor flexión plantar del 1º metatarsiano frente al 5º metatarsiano.

Las contracturas o anomalías de las partes blandas pueden empeorar las fuerzas deformantes o resistir los intentos de corrección. Si se mantiene la deformidad en el tiempo pueden

ocurrir cambios adaptativos en los huesos. En los adultos no tratados pueden ocurrir fusiones espontáneas o cambios artrósicos precoces secundarios a las contracturas.⁷

Sistemas de clasificación

Principalmente existen dos sistemas de clasificación que fueron descritos por Pirani et al. y Dimeglio et al. y que están basados exclusivamente en parámetros de la exploración física.^{12,13}

La clasificación de Pirani es sencilla y fácil de usar para evaluar la rigidez de cada componente del pie zambo (Figura 4). Es útil para evaluar la severidad de la deformidad al inicio y observar el progreso. La puntuación se debe recoger en cada visita que realiza el paciente. Si la puntuación aumenta de una visita a otra puede indicar una posible recidiva.

Los componentes son los siguientes:

Cada componente se puntúa 0, 0.5 o 1.

Graduación del retropié o HS (máximo 3 puntos):

1. Pliegue posterior
2. Equino rígido
3. Talón vacío

Graduación del mediopié o MS (máximo 3 puntos):

1. Borde lateral curvado
2. Pliegue medial

3. Cobertura de la cabeza del astrágalo

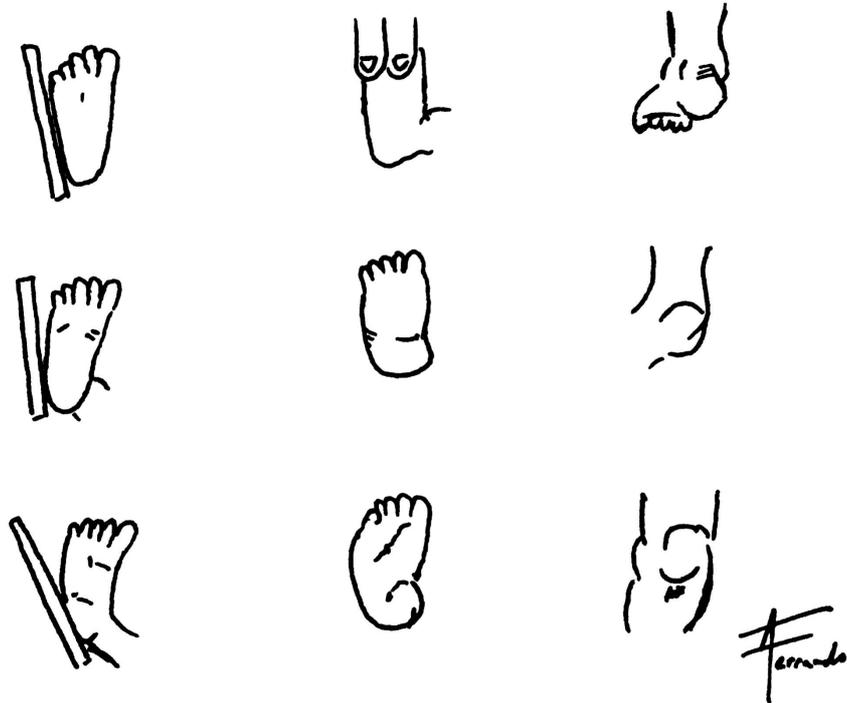


Figura 4. Clasificación de Pirani.

Cada pie se valora semanalmente y se documenta el HS, MS y el máximo de puntos global. La tenotomía de Aquiles esta indicada cuando el $MS < 1$ y el $HS > 1$ y la cabeza del astrágalo esta totalmente cubierta.

En el sistema de Dimeglio, se evalúan cuatro parámetros y su puntuación depende de la reductibilidad con una

manipulación suave y los grados medidos con un goniómetro (Figura 5).

Los cuatro componentes son:

- A. Equino en el plano sagital
- B. Derrotación del bloque calcáneo-pie en el plano horizontal
- C. Varo en el plano frontal
- D. Aducción del antepié respecto al retropié en el plano horizontal

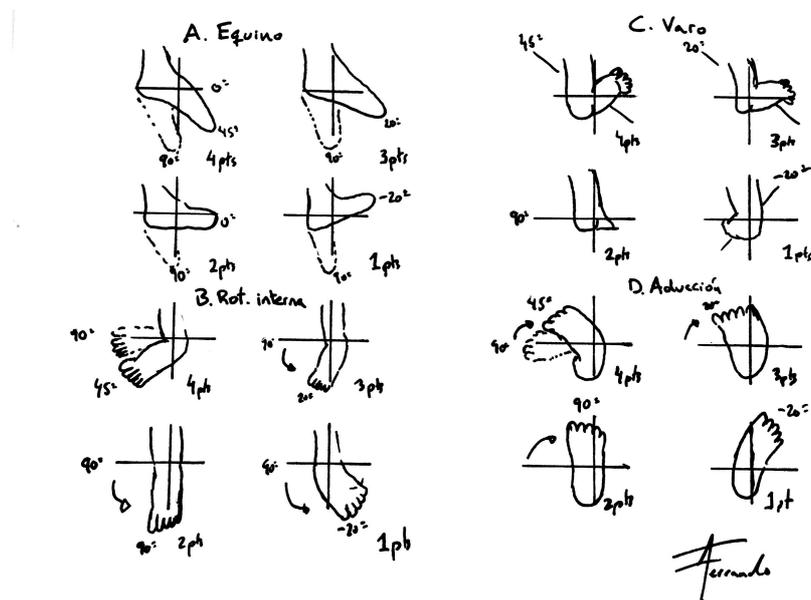


Figura 5. Clasificación de Dimeglio.

La escala tiene un máximo de 20 puntos. Se añade 1 punto penalizador por cada una de las siguientes deformidades (un máximo total de 4 puntos):

1. 1 punto por el pliegue posterior
2. 1 punto por el pliegue medial
3. 1 punto por la deformidad en cavo
4. 1 punto por la hipertonía global

La utilización de los sistemas de clasificación pueden ser herramientas útiles en el seguimiento de los pacientes para identificar una recidiva precoz. Aunque últimamente los estudios refieren que la concordancia interobservador de estos dos sistemas de clasificación es pobre y que no ayudan a predecir el tratamiento (número de yesos necesarios).^{14,15}

2.4 Tratamiento conservador

Clásicamente han existido dos grandes escuelas de tratamiento del pie zambo. El tratamiento quirúrgico frente al tratamiento conservador mediante manipulaciones y yesos correctores, apuntando una tendencia creciente hacia el tratamiento conservador.

El tratamiento conservador contempla 3 técnicas: el método Ponseti, el método francés y el método de Kite.

2.4.1 Método Ponseti

El método de Ponseti es actualmente el tratamiento de elección en nuestro centro y prácticamente a nivel mundial. Este

método consiste en realizar manipulaciones delicadas seguidas de una serie de yesos semanales desde la primera semana del nacimiento, así se consigue elongar los tendones y ligamentos retraídos del niño, ya que el colágeno a estas edades tiene una estructura ondulante, posee un alto contenido celular y tolera importantes estiramientos.¹⁶

El tratamiento es sencillo y eficaz si el cirujano comprende la cinemática y anatomía del pie zambo.

Lo primero que uno debe hacer es reconocer mediante la palpación la posición relativa de los huesos del pie en relación a los maléolos y la cabeza del astrágalo. Después uno debe notar la distancia entre el maléolo medial y el navicular, dado que cuanto menor sea la distancia peor será la deformidad.

Para corregir el pie zambo, lo primero que se corrige es el cavo mediante la supinación del antepié y la dorsiflexión del primer metatarsiano.



Figura 6. Corrección del cavo mediante la supinación del antepié y elevación del primer metatarsiano. Es importante supinar y abducir simultáneamente.

Para corregir el varo y la aducción, el pie en supinación se abduce a la vez que se mantiene una presión sobre la cabeza del astrágalo. El calcáneo se abduce rotando y deslizando por debajo del astrágalo. Mientras el calcáneo se abduce, simultáneamente se evierte y el varo del retropié se corrige. El

calcáneo no se puede evertir salvo que no se realice la abducción.¹⁷



Figura 7. Abducción del antepié frente a una presión ejercida en la cabeza del astrágalo.

La corrección se mantiene mediante la inmovilización del pie en un yeso durante 5-7 días. Tras la aplicación de 4 a 8 yesos, las deformidades en cavo, aducto y varo quedan corregidas.

Lo último que hay que corregir es el equino, que se debe hacer cuando el retropié este en ligero valgo y el pie se encuentre abducido con respecto a la pierna (aproximadamente 60°). El equino se corrige mediante la dorsiflexión del pie que se encuentra totalmente en posición de abducción. En la mayoría de los pies es necesaria una tenotomía percutánea del Aquiles para corregir el equino.¹⁸ La tenotomía se puede realizar en el quirófano bajo anestesia general o en la consulta, siempre en condiciones de asepsia. Posteriormente hay que colocar un yeso largo con el pie en máxima flexión dorsal y abducción de 70°.¹⁹ La escayola se deberá mantener durante 3 semanas. La corrección obtenida se mantiene después mediante el uso de una ortesis de abducción como La barra de Denis Browne (Figura 8).



Figura 8. Botas para tratamiento de pie equinovaro. Fuente modificada: Dolmanrg²⁰

La ortesis de Dennis Browne consiste en dos zapatos abiertos por donde salen los dedos, conectados por una barra metálica que mantiene los pies separados a una distancia equivalente a la anchura de los hombros. Los zapatos del pie afecto se deben colocar a 70° de rotación externa y 10° de dorsiflexión, lo que se consigue doblando la barra hacia arriba 5° o 10°, y los pies no afectados a 40° de rotación externa (Figura 9).¹⁹ Esta ortesis se debe llevar a tiempo completo durante los 2-3 primeros meses y posteriormente durante el descanso nocturno durante 4 años (según protocolo de la Unidad). Es fundamental informar a los padres de que las molestias iniciales suelen desaparecer al poco

tiempo y pedirles la máxima colaboración con el uso de la ortesis dado que si no se utiliza adecuadamente puede aumentar el riesgo de recidiva.²⁰ Para ello es importante que las botas tengan un orificio en la parte posterior del talón que permita comprobar que éste se encuentre bien encajado en contacto total con la suela. En caso contrario una bota mal colocada puede desencadenar en una contractura fija en equino.

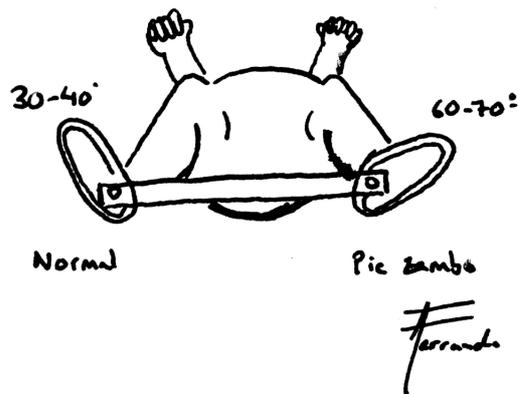


Figura 9. Posición de los pies con la ortesis de Denis Browne.

Existen diferentes grados de severidad y rigidez de pies zambo al nacimiento. El fracaso del tratamiento a veces es la consecuencia de una mala técnica en la manipulación o en la aplicación de los yesos más que debido a la deformidad.

Uno de los errores habituales en el tratamiento inicial es llevar el pie inmediatamente a la posición de corrección (mediante una

dorsiflexión forzada). Aunque con este gesto se puede llegar a corregir el aducto y cavo del ante y mediopié, el calcáneo quedará en aducción e inversión bajo el astrágalo, bloqueando la corrección del varo y el equino. Las siglas CAVE ayudan a recordar la importancia del orden de la corrección: primero el cavo, seguido de la aducción, el varo y el equino.

2.4.2 El método francés

El *método francés* o también conocido como el método funcional consiste en la manipulación pasiva diaria del pie, estimulación de los músculos que actúan sobre él (sobretudo los peroneos) y la colocación de un vendaje funcional para mantener la corrección obtenida. Este tratamiento lo realizan los padres con los fisioterapeutas diariamente. La secuencia de las manipulaciones es la siguiente: primero se manipula la aducción del antepié y el varo del talón. Después se rota el calcáneo en dirección medial mientras se abduce el antepié. Por último, se manipula el equino. Después se coloca el vendaje funcional para mantener el rango de movilidad pasiva logrado con las manipulaciones (Figura 10). Tras la finalización de las sesiones de manipulaciones a los seis meses, se aplica una ortesis nocturna hasta los 3-4 años. Aunque los resultados parecen prometedores con este método, requiere mucho tiempo y gran experiencia para

realizarlo tanto del fisioterapeuta como de los padres.²¹⁻²⁴ Este método no se utiliza en nuestro centro.

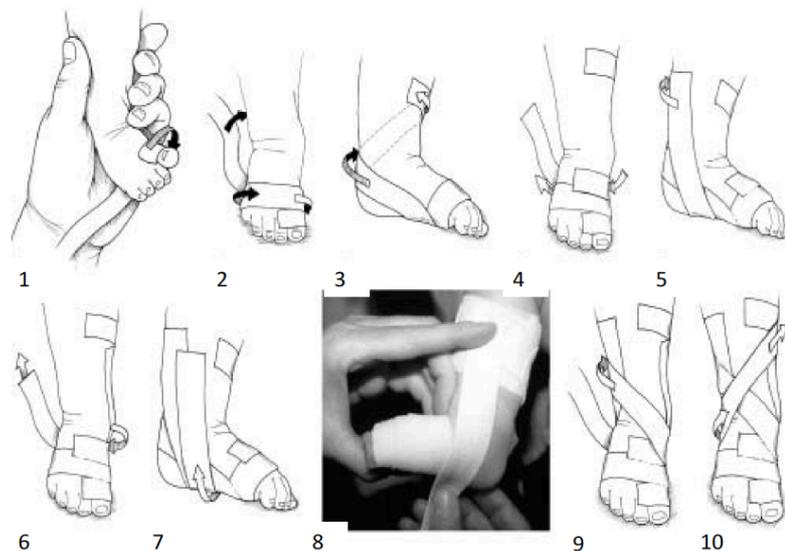


Figura 10. Proceso secuencial del vendaje funcional.

Fuente modificada: Noonan¹⁹

2.4.3 El método de Kite

El método de Kite tiene dos aspectos básicos: las manipulaciones y los yesos progresivos. La manipulación consiste en evertir el talón mientras se estira y abduce el antepié. Posteriormente hay que poner el yeso con el antepié en abducción y tomando como punto de apoyo la articulación calcáneocuboidea (Figura 11). Cuando el yeso ha fraguado, se completa hasta por encima de la rodilla, colocando el pie en

eversión mediante una rotación externa ligera. Una vez corregidos el aducto del antepié y el varo del retropié, se lleva gradualmente el pie a flexión dorsal para corregir el equino. El tratamiento con yesos suele cambiarse semanalmente hasta los 3 meses del nacimiento.



Figura 11. Fulcro de apoyo erróneo en la articulación calcaneocuboidea.

Los errores comunes del método de Kite se basan en los siguientes aspectos:

1. *Pronación o eversión del pie.* El método de Kite comienza con la pronación o eversión del 1º metatarsiano para corregir el aducto. La pronación del pie empeora el cavo

y bloquea el calcáneo por debajo del astrágalo en aducto mientras el antepié y el mediopié se retuercen a una posición de eversión.

2. *Fulcro en la articulación calcaneocuboidea.* La abducción del pie con un apoyo en la articulación calcaneocuboidea bloquea la abducción del calcáneo, evitando la corrección del varo del retropié.
3. *Dorsiflexión y rotación externa prematura.* En el método de Kite se realiza una rotación externa del pie para acabar de corregir el aducto del antepié pero no se puede realizar una rotación externa hasta que no se haya corregido el varo del retropié.²⁵ Si el calcáneo está todavía en varo y se realiza rotación externa, el maléolo lateral se desplaza a posterior produciendo una deformidad iatrogénica.²⁶

Por todo ello, debido a los resultados subóptimos obtenidos con esta técnica, los pacientes con persistencia de la deformidad a los 3 meses de manipulación se les realizaba un tratamiento quirúrgico "a la carta."

2.5 Tratamiento quirúrgico

Los métodos quirúrgicos contemplan varias técnicas según la edad del niño y la deformidad a corregir.²⁷

Principalmente existen dos escuelas de técnicas quirúrgicas: la liberación posterior y las liberaciones extensas como la liberación posteromedial y posterolateral. Las técnicas quirúrgicas siempre se realizan tras un periodo previo de manipulaciones con yesos (por ejemplo, método de Kite o Ponseti).

2.5.1 Liberación posterior

La técnica de liberación posterior se realizó en nuestro centro hasta el año 2006. De forma programada, todos los pacientes con pie zambo candidatos a la liberación posterior habían recibido un tratamiento conservador previo mediante manipulaciones seriadas según la técnica de Kite. Se obtenían buenos resultados, pero se sustituyó gradualmente en los años siguientes por el método de Ponseti dado la creciente evidencia científica de superioridad comparado con las otras técnicas de liberación extensas. Pese a su remplazo, a día de hoy, sigue sin haber ningún estudio biomecánico que demuestra la superioridad del método Ponseti frente a la técnica de liberación posterior, comparando ambos métodos con un grupo control de niños sanos.

La técnica quirúrgica comienza con una incisión longitudinal sobre el aspecto medial del tendón de Aquiles, desde su inserción en el calcáneo hasta 3cm por encima de la articulación del tobillo (Figura 15).



Figura 12. Paciente operado de pie zambo bilateral donde se aprecia la cicatriz de la incisión longitudinal de la liberación posterior.

Posteriormente se realiza un alargamiento abierto en Z del tendón de Aquiles, tenotomía intramuscular del tibial posterior, flexor común de los dedos y flexor largo del hallux.

A continuación, se realiza una capsulotomía transversa de las articulaciones tibio-astragalina y subastragalina. Con una incisión distinta se realiza una sección del tendón aductor del hallux.

Finalmente, se coloca un yeso isquiopédico con la rodilla flexionada a 90° y el tobillo con 5 grados de flexión dorsal. El yeso se retira a las 6 semanas tras la cirugía. Después se coloca una ortesis de abducción que se debe llevar a tiempo completo durante los 2-3 primeros meses y posteriormente durante el descanso nocturno hasta los 2 años (según protocolo de la Unidad).

2.5.2 Liberaciones extensas: liberación posteromedial y posterolateral.

Estas dos técnicas son más agresivas sobre las articulaciones y las partes blandas que la técnica de liberación posterior y está descrito en la literatura resultados inferiores en cuanto al análisis de la marcha al compararlo con el método de Ponseti.²⁸⁻³⁵

Tanto en la liberación posteromedial como posterolateral, se comienza con el abordaje de Cincinnati o incisión transversal circunferencial (Figura 13).

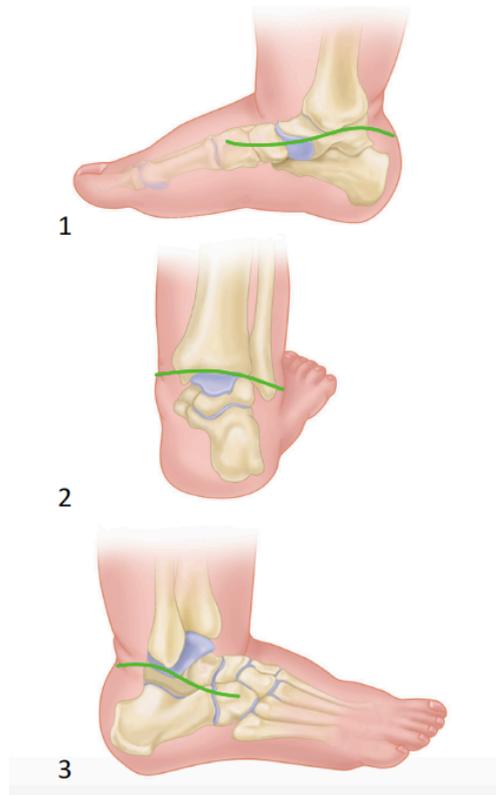


Figura 13. Incisión transversa circunferencial tipo Cincinnati descrita por Crawford et al. Fuente modificada: Kelly⁷

A continuación, se realiza un alargamiento en Z del Aquiles y del tendón tibial posterior y se liberan los tendones peroneos de sus vainas.

Si se realiza una liberación posteromedial, se libera la articulación posterior del tobillo, el ligamento calcáneo-peroneo y el ligamento astrágalo-peroneo posterior. Posteriormente, se realiza una tenotomía intramuscular del flexor largo del pulgar y flexor largo de los dedos. Después, se realiza una sección de: la

porción astrágalo-calcánea del ligamento deltoideo, del ligamento astrágalo-calcáneo plantar y del ligamento en Y o bifurcado. Con una incisión distinta se realiza una sección del tendón aductor del hallux.



Figura 14. Incisión posteromedial y paso de la aguja Kirschner mientras se mantiene la reducción. Fuente modificada:

Machida³⁶

Si se realiza una liberación posterolateral, además de las liberaciones descritas anteriormente, se liberan las siguientes estructuras: el ligamento calcáneo-peroneo, el ligamento astrágalo-calcáneo lateral, la cápsula lateral de la articulación

astrágalo-calcánea, el ligamento calcáneo-cuboideo dorsal y el ligamento astrágalo-cuboideo oblicuo.

Finalmente, se reduce la deformidad del pie y se insertan entre 2-3 agujas Kirschner (Figura 14). Una las agujas atraviesa la articulación calcáneo-cuboidea mientras que las otras dos atraviesan las articulaciones astrágalo-escafoidea y astrágalo-tibial.

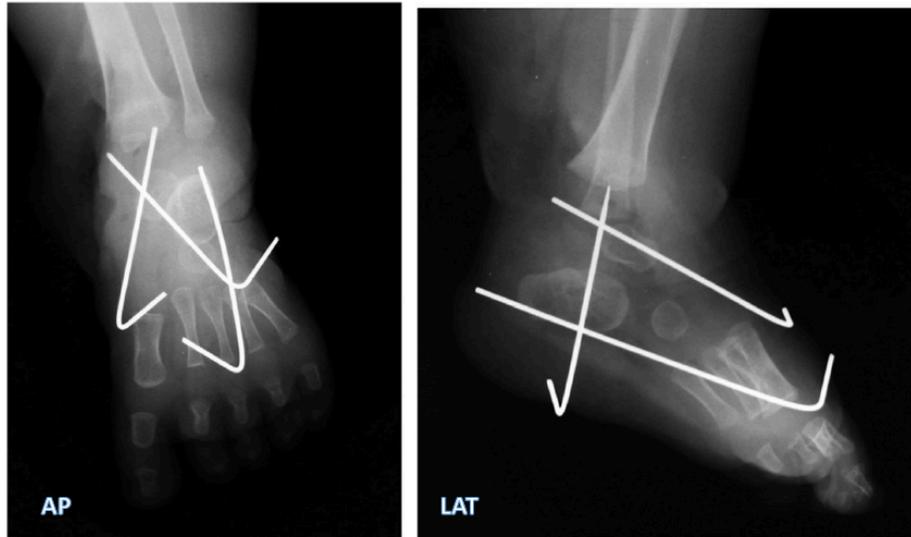


Figura 15. Radiografías postoperatorias anteroposterior y lateral. Fuente modificada: Machida.³⁶

Se cierre la piel y se coloca un yeso isquiopédico con la rodilla flexionada a 90° y el pie en flexión plantar. A las 2 semanas se corrige el yeso con el pie en dorsiflexión. A las 6 semanas se retira el yeso y las agujas Kirschner. La corrección se mantiene con el uso de una ortesis de abducción a tiempo

completo durante 2-3 meses y nocturna hasta los 2 años (según protocolo de la Unidad).

2.6 Pruebas de evaluación

En la actualidad existen determinadas pruebas que evalúan los resultados del tratamiento del pie zambo y que a su vez permiten comparar la efectividad de diferentes tratamientos.

Las pruebas que se utilizan con mayor frecuencia para evaluar el estado clínico del paciente con pie zambo se pueden agrupar en 4 módulos.^{28,29,32,37,38}

1. Exploración física
2. Cuestionarios de evaluación
3. Estudio radiográfico
4. Análisis biomecánico de la marcha

2.6.1 Exploración física

La exploración física es fundamental para el diagnóstico, para evaluar anomalías asociadas y para evaluar la efectividad del tratamiento empleado.

Es importante realizar una exploración de los miembros inferiores tanto en decúbito supino como en decúbito prono para poder realizar una adecuada inspección (ejes, deformidades, heridas, trofismo muscular) y evaluar los diferentes grados de rigidez asociado al pie zambo a nivel de las caderas (rotaciones y

flexo-extensión), rodillas (flexo-extensión) y tobillos (flexo-extensión, eversión-inversión). Generalmente, las mediciones del rango de movilidad se realizan con un goniómetro. Podemos también obtener una orientación rápida sobre la fuerza muscular del paciente mediante el registro de la escala de fuerza muscular modificada del MRC y explorar los reflejos para descartar patología neurológica asociada.³⁹

También es útil realizar ciertas mediciones antropométricas mientras el paciente esté en la camilla. En todos los casos, siempre hay que realizar una medición de los miembros inferiores para comprobar que no hay disimetrías. De hecho, las disimetrías suelen ser un hallazgo asociado a los pacientes con pie zambo debido a la hipoplasia del miembro afecto.³⁹ De la misma importancia es el registro de la circunferencia de las pantorrillas puesto que existen teorías contradictorias sobre la etiopatogenia de la enfermedad. Existen autores que abogan que los tratamientos quirúrgicos agresivos tales como la liberación posteromedial producen una mayor reducción del tamaño de las pantorrillas cuando se compara con pacientes tratados con el método de Ponseti.⁴⁰ Mientras que otros indican que la atrofia muscular de la pantorrilla es idiopático e independiente del tratamiento.¹⁰ La longitud de los pies es otro aspecto a tener en cuenta en los pacientes con pie zambo debido a que los pies patológicos suelen ser más pequeños y pueden afectar en determinados casos a la estabilidad durante la marcha.¹⁰

De la misma manera, se debe realizar una inspección y exploración con el paciente en bipedestación. El podoscopio es una herramienta eficaz para evaluar una deformidad residual mediante la inspección de la huella y el eje del retropié (varovalgo-neutro). Podemos observar si el paciente presenta callosidades y si es capaz de ponerse de puntillas (valoración de una insuficiencia del musculo tibial posterior). Por último, se puede indicar al paciente que deambule en la consulta para observar patrones de la marcha patológicos evidentes con las limitaciones que conlleva un diagnóstico visual aislado.¹⁰

2.6.2 Cuestionarios

Los cuestionarios son una herramienta valiosa que permite analizar las respuestas que describen el estado clínico desde el punto de vista de los padres y/o los niños afectados de pie zambo. Es una forma de obtener información adicional (por ejemplo, del ámbito emocional) que no siempre puede estar reflejada en la historia clínica u en otros estudios objetivos tales como en los laboratorios de la marcha. Además, las puntuaciones globales de los cuestionarios nos permiten comparar los pacientes entre sí y evaluar de esta forma la eficacia de diferentes tratamientos.

Los cuestionarios más utilizados en la literatura para evaluar el estado clínico de los pacientes con pie zambo son los siguientes^{32,37,41,42}:

1. **Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI)**- (*Anexo 6. PODCI*):

El PODCI es un cuestionario completado por el paciente que se desarrolló para evaluar la evolución clínica de pacientes pediátricos tras una intervención quirúrgica. Se centra sobretodo en la función y la calidad de vida del niño. Cada pregunta tiene un peso diferente según las respuesta del niño, de 0-3 puntos (para las respuestas de a menudo, a veces o nunca) o de 0-6 puntos (para las respuestas nunca, muy poco, poco, moderado, severo o muy severo). El cuestionario esta dividido en 6 apartados: función del miembro superior, transferencias, deportes, dolor, felicidad y puntuación global.

2. **Foot and Ankle Disability Index Score (FADI)** – (*Anexo 3. Plantilla*).

El FADI es un cuestionario específico completado por el paciente para cuantificar la disfunción a nivel del tobillo y pie. Está compuesto por 26 preguntas, de ellas 22 están relacionadas con la actividad física y las otras 4 con el dolor. Cada pregunta se puntúa del 0-5 (imposible, mucha dificultad, dificultad moderada, ligera dificultad,

ninguna dificultad) con una puntuación total de 104 puntos.

3. **The American Orthopedic Foot and Ankle Score (AOFAS)-** (*Anexo 3. Plantilla*).

El AOFAS es un cuestionario específico del pie y tobillo completado por el paciente y el investigador. El cuestionario tiene un total de 9 preguntas con respuestas objetivas (aquellas rellenas por el investigador) y subjetivas (las rellenas por el paciente) que evalúan 3 aspectos: el dolor (40 puntos), la función (50 puntos) y la alineación (10 puntos) sumando un total de 100 puntos.

2.6.3 Estudio radiográfico

En el recién nacido con pie zambo, el papel de la radiografía es poco útil porque los huesos todavía se encuentran en la fase de osificación y el paciente no es capaz de ponerse de pie. En cambio, a partir del tercer año aproximadamente (cuando se completa la osificación del escafoides y de la 2º y 3º cuña), el estudio radiográfico en el pie zambo proporciona información importante sobre la deformidad residual tras la finalización del tratamiento y la posible presencia de artrosis.¹⁸ Además, el estudio radiográfico nos permite identificar otras deformidades

asociadas al pie zambo, tales como el astrágalo plano cuya etiología y repercusión clínica está todavía en fase de investigación.⁴³⁻⁴⁵

Para un adecuado análisis, las radiografías siempre se deben realizar en carga.⁴⁶ Los ángulos utilizados en los estudios para evaluar la severidad de la deformidad del pie zambo son los siguientes^{32,34,37,38,41}:

1. *Ángulo astrágalo-1º metatarsiano en la proyección anteroposterior*: es el ángulo que describe la posición relativa del antepié y se emplea para el tratamiento del aducto del pie zambo. En un pie normal, el ángulo está entre 5-15 grados en la proyección AP.⁷ En el pie zambo, el ángulo suele ser negativo, indicando un aducto del antepié.
2. *Ángulo astrágalo-calcáneo en la proyección anteroposterior*: en los niños sanos, el valor normal se encuentra entre 30-55 grados.⁷ En cambio, en el pie zambo, este ángulo disminuye progresivamente con el aumento del varo del retropié.
3. *Ángulo astrágalo-calcáneo en la proyección lateral*: en un pie sano, el ángulo astrágalo-calcáneo varía entre 25-50 grados.⁷ En el pie zambo, este ángulo disminuye progresivamente con el aumento de la severidad de la deformidad hasta un ángulo de 0º o paralelismo.

4. *Ángulo tibio-calcáneo en la proyección lateral de estrés*: en un pie normal el ángulo normal se establece entre 10-40 grados.⁷ En el pie zambo, este ángulo suele ser negativo, indicando un equino del calcáneo en relación a la tibia.

En cuanto al análisis de la artrosis, una de las clasificaciones empleadas en los estudios es la clasificación descrita por Kellgren et al, que puntúa el grado de artrosis del 0-4.⁴⁷ Este análisis es importante dado que existe un estudio que asocia la técnica de liberación posteromedial con una mayor proporción de artrosis en el tobillo y pie cuando se compara con el método de Ponseti.³⁷

- *Grado 0. Normal.* Características: normal.
- *Grado 1. Dudosa.* Características: dudoso estrechamiento de la interlínea con posible osteofitosis.
- *Grado 2. Leve.* Características: posible estrechamiento de la interlínea con osteofitosis.
- *Grado 3. Moderada.* Características: estrechamiento de la interlínea, osteofitosis moderada, esclerosis leve y posible deformidad de los extremos óseos.
- *Grado 4. Grave.* Características: marcado estrechamiento de la interlínea, abundantes osteofitos, esclerosis grave y deformidad de los extremos óseos.

2.6.4 Análisis biomecánico de la marcha

En los últimos años han ido incorporándose progresivamente técnicas biomecánicas para objetivar el resultado funcional de diferentes tratamientos. El análisis biomecánico de la marcha en los pacientes con pie zambo está mostrando ser una herramienta útil para describir la marcha patológica característica de este grupo de pacientes.^{29,30,34,48-50,51}

A continuación, se realiza un resumen de la biomecánica de la marcha humana y la aplicación de los estudios biomecánicos para detectar diferencias entre tratamientos en los pacientes con pie zambo.

2.7 La marcha humana normal

La marcha humana es un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia delante, siendo un peso soportado, alternativamente, por ambas piernas.⁵² Mientras el cuerpo se desplaza sobre la pierna de soporte, la otra pierna se balancea hacia delante para preparar el siguiente apoyo.

Durante la marcha, uno de los pies se encuentra siempre en el suelo y en el periodo de transferencia del peso de la pierna atrasada a la adelantada, existe un periodo de tiempo en el cual existe un apoyo bipodal. El tiempo de apoyo bipodal disminuye a medida que aumenta la velocidad del paciente.

Durante los primeros años de la infancia, el ser humano aprende a caminar de manera natural. El aprendizaje de la marcha ocurre de una manera secuencial y se establece como normal los siguientes hitos en determinados periodos⁵³:

- A los 12 meses, los niños se sientan correctamente, gatean, y se ponen de pie cogiéndose de algo. Pueden llegar a andar sujetándoles de la mano.⁵⁴
- A los 18 meses, se levantan y andan solos.⁵⁵
- Pese a ser un proceso individual (debido a la influencia de diversos factores intrínsecos y extrínsecos del sujeto), puede hablarse de un patrón característico de la marcha propiamente adulta a partir de los 5-7 años aproximadamente.⁵³

2.8 El ciclo de la marcha

La marcha es un ejemplo de movimiento periódico que se repite de manera indefinida. Para poder estudiar el ciclo de la marcha, evaluamos la zancada, que hace referencia a la secuencia de acontecimientos que tiene lugar entre dos repeticiones consecutivas. De manera general, se adopta como principio del ciclo el instante en que uno de los pies contacta el suelo con el talón y se adopta como final el segundo choque del talón con el mismo pie.

En una zancada, cada pie pasa por dos fases distintas:

1. Fase de apoyo: el pie se encuentra en contacto con el suelo. Esta fase constituye alrededor del 60% del ciclo completo de zancada.
2. Fase de oscilación: el pie se encuentra en el aire. Esta fase constituye el 40% del ciclo completo de zancada.

A su vez, estas dos fases se subdividen en diferentes subfases que facilitan la descripción del ciclo de la marcha (Figura 16):

Fase de apoyo

1. Fase de contacto inicial o choque del talón
2. Fase inicial de apoyo o respuesta de carga: inicio del apoyo plantar
3. Fase de apoyo medio: apoyo plantar completo
4. Fase final de apoyo: se produce la elevación del talón
5. Fase previa a la oscilación: despegue del antepié tras apoyarse la cabeza del 1º metatarsiano

Fase de oscilación

6. Fase inicial de oscilación: flexión de rodilla con inicio de la oscilación hacia delante

7. Fase media de oscilación: la pierna oscilante se dirige hacia delante
8. Fase final de oscilación: frenado y preparación para el siguiente apoyo del talón

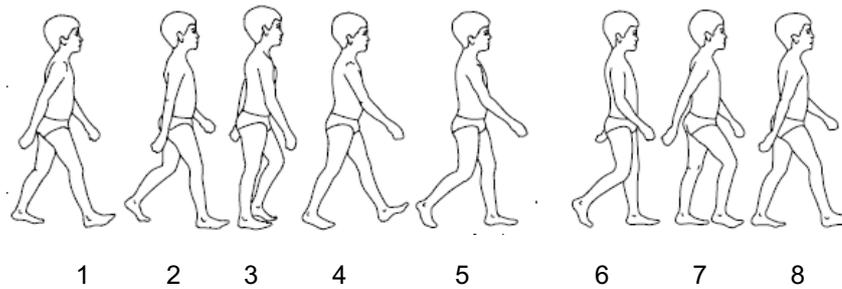


Figura 16. Las 8 subfases del ciclo de la marcha. Fuente modificada: Villa⁵⁵

2.9 Biomecánica de la marcha

Como se ha comentado previamente, la fase de apoyo comienza con el contacto del talón y acaba con el despegue de los dedos mientras que la fase de oscilación comienza con el despegue de los dedos y termina con el choque del talón. Estas fases se caracterizan por los diferentes movimientos que se producen en la columna y las extremidades inferiores:

1. Columna vertebral y pelvis: Durante la fase de apoyo, la pelvis rota hacia el mismo lado del apoyo mientras que la columna lo hace hacia el lado contrario. Durante la fase de oscilación, se produce el gesto contrario con la rotación de la pelvis en sentido contrario a la pierna que se apoya y a la columna.
2. Cadera: Durante la fase de apoyo, se produce una disminución de la rotación externa seguido de una inclinación interna. En la fase de oscilación, la cadera realiza unos movimientos de flexión, rotación externa (debido a la rotación de la pelvis) y abducción.
3. Rodilla: Durante la fase de apoyo, se generan unos movimientos de ligera flexión durante el contacto seguido por la extensión hasta que el talón despega cuando se flexiona la rodilla.⁵⁶ Durante la fase de oscilación, los movimientos son de flexión en la primera mitad seguido de la extensión en la segunda parte.
4. Tobillo y pie: Durante la fase de apoyo, se producen unos movimientos de flexión plantar seguidos de una flexión dorsal. En la fase de oscilación, existe una

dorsiflexión potente mientras que los flexores plantares están completamente relajados.

2.10 Estudio de la biomecánica de la marcha

Existen diferentes formas de evaluar la biomecánica de la marcha desde la realización de pruebas biomecánicas de la cinemática y cinética de la marcha a estudios de la huella plantar a análisis de videos de alta velocidad.

En el siguiente apartado nos centraremos en resumir los tres bloques característicos del estudio biomecánico de la marcha de este estudio:

1. Las variables espaciotemporales
2. El análisis de las curvas cinemáticas
3. El análisis de las curvas cinéticas

2.10.1 Las variables espaciotemporales

Las variables espaciales son aquellas que se relacionan con la *distancia* que se recorre durante un ciclo de la marcha. Por ejemplo: la longitud del paso o la longitud de zancada.

Las variables temporales son aquellas que se relacionan con el *tiempo* durante un ciclo de la marcha. Por ejemplo: la cadencia, la velocidad y los tiempos de apoyo.

A continuación, se presentan las definiciones de las variables espaciotemporales clásicas.

- **Velocidad de la marcha:** La distancia recorrida por una persona en unidad de tiempo. Se registra en metros por segundo (m/s).
- **Longitud de la zancada:** La longitud en la dirección de la marcha del marcador del calcáneo de un pie en el momento del contacto inicial hasta el mismo marcador del mismo pie en el siguiente apoyo. Se registra en metros (m).
- **Duración de la zancada:** El tiempo entre el momento del contacto inicial de un pie hasta el mismo pie en el siguiente apoyo. Comprende la suma de un paso de cada uno de los pies. Se registra en segundos (s).
- **Longitud de paso:** La longitud en la dirección de la marcha entre el marcador del calcáneo de un pie en el momento del contacto inicial hasta el marcador del calcáneo del pie contralateral. Se registra en metros (m).
- **Duración de paso:** El tiempo entre el punto de apoyo de un pie y el del contralateral. Se registra en segundos (s).

- **Cadencia:** Número de pasos por unidad de tiempo. Se registra en pasos por minuto (pasos/min).
- **Ancho de paso:** Distancia en la perpendicular al sentido de la marcha entre los marcadores del calcáneo de pasos consecutivos. Se registra en metros (m).
- **Ángulo de paso/ ángulo de progresión del pie:** Ángulo entre la dirección de la marcha y la recta que pasa por los marcadores del calcáneo y el 5º metatarsiano. Se registra en grados (°).
- **Duración del apoyo:** Corresponde al tiempo de apoyo de cada pie. Se registra en segundos (s).
- **Diferencia en los tiempos de apoyo:** Tiempo de diferencia entre los tiempos de apoyo de cada pie. Se mide en segundos (s).
- **Fase de oscilación:** Se refiere al porcentaje del tiempo de un ciclo en el que el pie no está en contacto con el suelo. Se registra como porcentaje del ciclo completo (% ciclo).
- **Fase de apoyo:** Porcentaje del tiempo de un ciclo en el que el pie está en contacto con el suelo. Se registra como porcentaje del ciclo completo (% ciclo).
- **Apoyo bipodal:** Porcentaje del ciclo en el que ambos pies se encuentran apoyados en el suelo. La suma de los dos porcentajes, uno al comienzo y otro al final del

apoyo de cada pie. Se mide en porcentaje del ciclo completo (% ciclo).

- **Apoyo monopodal:** Porcentaje del ciclo en el que sólo un pie se encuentra en apoyo sobre el suelo. La suma de los dos porcentajes, uno el tiempo de apoyo monopodal de un pie y otro, el apoyo monopodal del contralateral. Se mide en porcentaje del ciclo completo (% ciclo).⁵⁷

2.10.2 Análisis de las curvas cinemáticas

A diferencia de las variables espaciotemporales, la cinemática hace referencia al registro de la posición y orientación de determinados segmentos del cuerpo, los ángulos de las articulaciones y sus correspondientes velocidades angulares y lineales mediante video-fotogrametría.

Las gráficas de las variables cinemáticas (coordenadas, ángulos articulares y sus derivadas) en función del tiempo, constituyen la presentación de resultados más estándar y permiten observar la evolución de dichas variables a lo largo del ciclo de marcha.⁵⁷ Por lo tanto, es fundamental una adecuada comprensión de las curvas cinemáticas para su adecuada interpretación.

Seguidamente, se realiza una interpretación de las principales curvas cinemáticas a nivel de la cadera, rodilla y tobillo.

En el análisis de la marcha, se estudian las posiciones angulares de los segmentos en los tres planos del espacio: frontal/coronal, sagital y horizontal/transversal. Para las articulaciones de la cadera y rodilla, el plano frontal corresponde con abducción/aducción, el plano sagital con flexo/extensión y el plano horizontal con rotación interna/externa. En el tobillo, el plano frontal corresponde con eversión/inversión, el plano sagital con flexión dorsal/plantar y el plano transversal con el ángulo de progresión del pie (el ángulo entre el eje del pie y la línea de progresión del piso).



Figura 17. Subdivisión de la fase de apoyo. El apoyo plantar hace referencia al contacto de la parte anterior del pie con el suelo. El apoyo medio ocurre cuando la cadera está alineada verticalmente con el centro del pie.

2.10.2.1 Cinemática de la cadera en el plano sagital

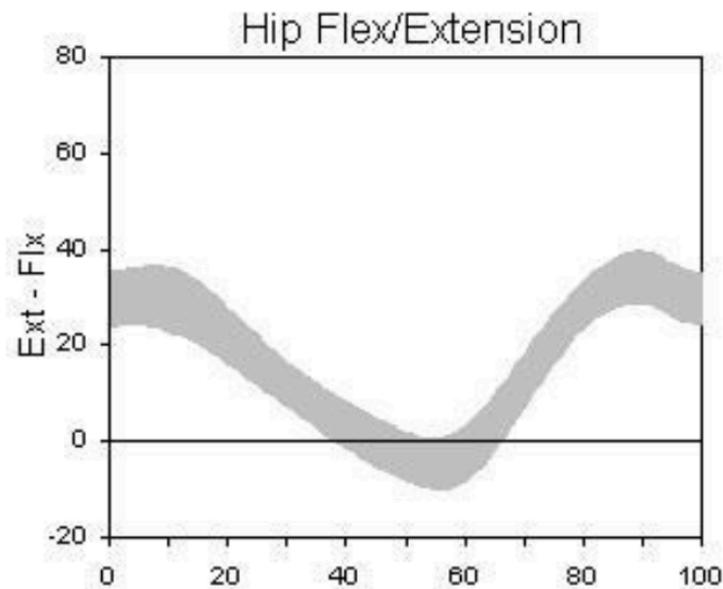


Figura 18. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano sagital a nivel de la cadera. Fuente: Kranz¹⁵⁸

a) Contacto del talón hasta apoyo medio (0-10 % ciclo)

Al contactar el talón con el suelo, la cadera se encuentra en 30 grados de flexión. Progresivamente la cadera empieza a moverse en extensión. Cuando el pie se encuentra plano en el suelo, la cadera se encuentra a 20 grados de flexión. Entre el pie plano y el apoyo medio, la cadera se mueve de 20 grados de flexión a la posición neutra (40-50 % del ciclo).

b) Entre apoyo medio y despegue del pie (10-60% ciclo)

En el apoyo medio la cadera se encuentra en una posición de 0 grados y continúa moviéndose hacia la extensión. En el despegue del talón, la cadera se encuentra en posición de hiperextensión a -10 grados⁵⁸. Con el despegue de los dedos la cadera vuelve a una posición neutra y se mueve en flexión.

c) Fase balanceo (60-100% ciclo)

Entre el despegue y la fase media del balanceo, la cadera desde una posición neutra realiza una flexión de 30 grados. Entre la fase media de balanceo y el contacto del talón, se mantiene el ángulo de flexión.

2.10.2.2 Cinemática de la cadera en el plano frontal

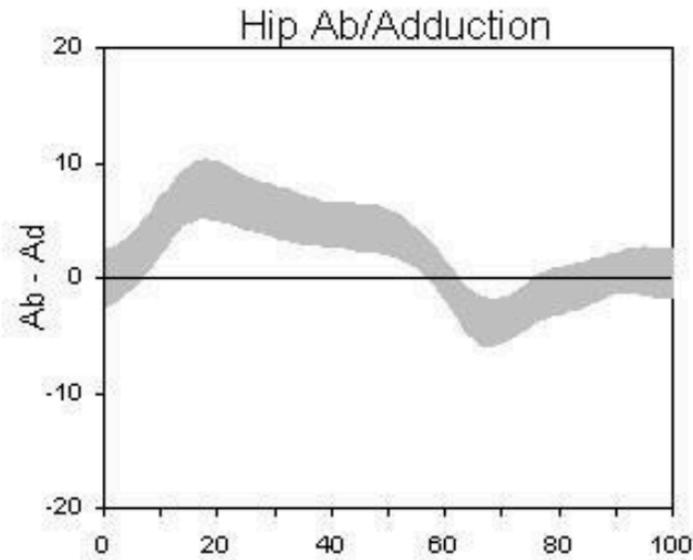


Figura 19. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano frontal a nivel de la cadera. Fuente: Kranz¹⁵⁸

a) Contacto del talón hasta apoyo medio

Al contactar el tacón con el suelo la cadera se encuentra en una posición neutra en relación a la abducción y aducción. Progresivamente, se mueve hacia la aducción logrando su rango máximo de 10 grados durante la etapa de apoyo medio.

b) Entre apoyo medio y despegue del pie

Desde el apoyo medio hacia el apoyo final y prebalanceo, el movimiento de la cadera es de abducción hasta los -8° en el momento de despegue de los dedos (60% ciclo).

c) Fase balanceo

Durante la fase de oscilación la articulación de la cadera se mueve progresivamente de abducción a aducción para preparar el contacto inicial.

2.10.2.3 Cinemática de la cadera en el plano transversal

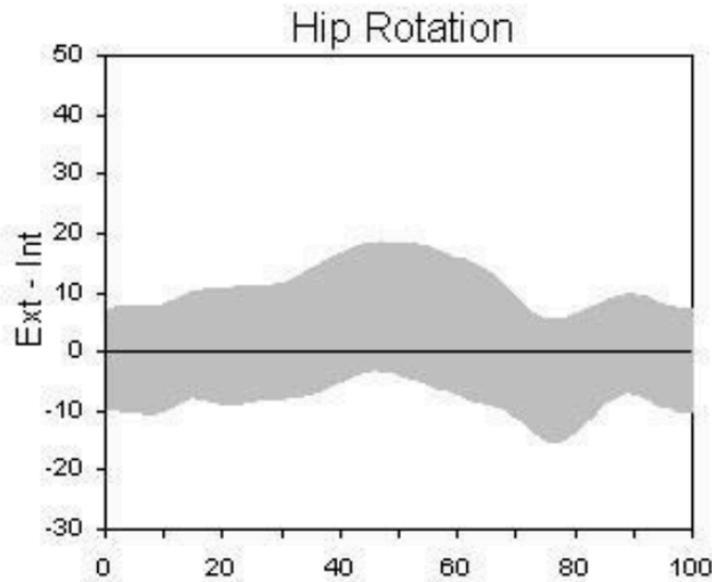


Figura 20. Media de todas las curvas individuales de un grupo control ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la cadera. Fuente: Kranzl⁵⁸

En el contacto del talón, la cadera realiza un movimiento de rotación externa. Posteriormente se realiza el movimiento contrario hasta volver a la posición neutra. Luego comienza nuevamente a rotar externamente hasta alcanzar su máximo de -10° en el momento justo antes del despegue.

Durante la primera etapa del balanceo, se realiza un movimiento de rotación interna hasta alcanzar una posición

neutra. En la etapa del balanceo terminal se vuelve a producir una rotación externa.

2.10.2.4 Cinemática de la rodilla en el plano sagital

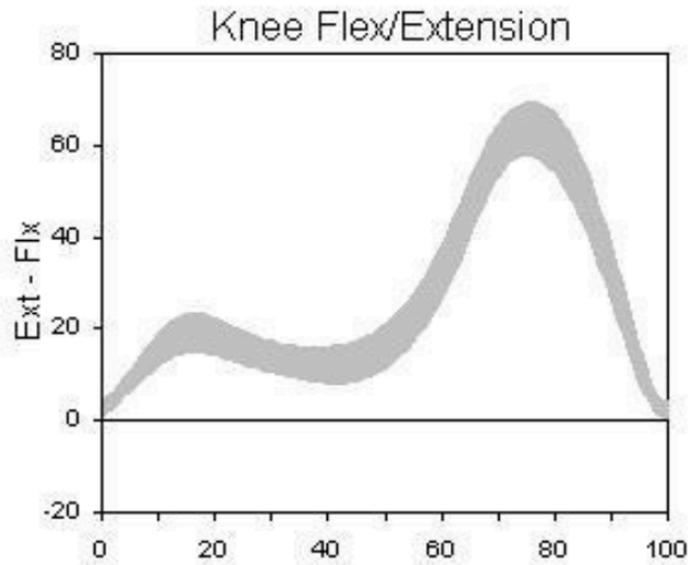


Figura 21. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano sagital a nivel de la rodilla. Fuente: Kranzl⁵⁸

a) Contacto del talón hasta apoyo medio

Inmediatamente antes de que el talón choque con el suelo, la articulación de la rodilla se encuentra en extensión completa. Cuando se realiza el contacto con el talón, la rodilla empieza a

flexionar hasta que la planta del pie se encuentra plana en el suelo (rodilla a 20 grados de flexión). Una vez llegado a este punto, la rodilla empieza a moverse en dirección de extensión. En el apoyo medio, la rodilla esta a 10 grados de flexión y continua con la extensión.

b) Entre apoyo medio y despegue del pie

En el apoyo medio, la rodilla se encuentra en 10 grados de flexión moviéndose hacia la extensión. Justo antes del despegue del talón, la rodilla esta a 5 grados de flexión. Entre el despegue del talón y de los dedos, la rodilla pasa de una extensión completa a 40 grados de flexión.

c) Fase balanceo

Entre el despegue y la parte media del balanceo, la rodilla realiza una flexión de 40° a una flexión máxima de 65°. Entre la fase media del balanceo y el contacto del talón, la rodilla se extiende hasta extensión completa.

2.10.2.5 Cinemática de la rodilla en el plano frontal

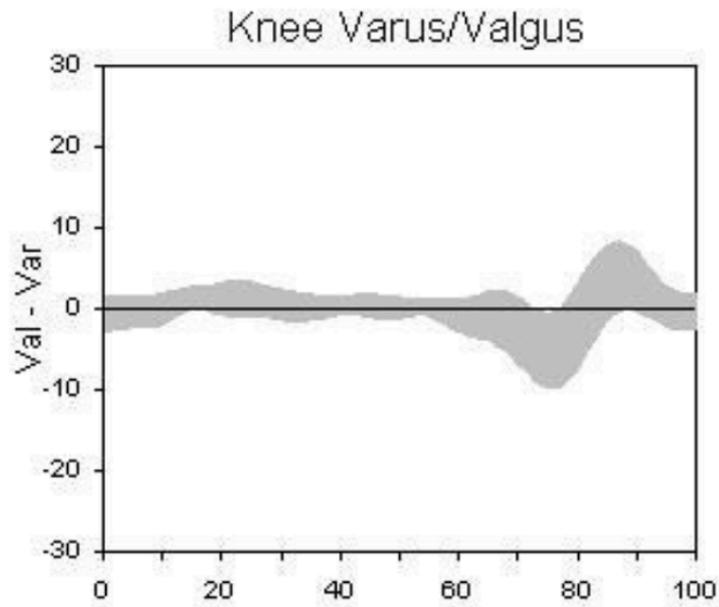


Figura 22. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano frontal a nivel de la rodilla. Fuente: Kranzl⁵⁸

Los movimientos angulares de la rodilla en el plano frontal son más pequeños que los observados en el plano sagital. Durante la fase de apoyo, se observa una ligera abducción de la pierna (valgo) al contactar el talón pero que pasa a aducción (varo) después de la reacción del suelo.

En el despegue, se produce un movimiento en abducción (valgo) de la rodilla que progresivamente va aumentando hasta

alcanzar su máximo de -10° en la fase media de balanceo. En la etapa final del balanceo la rodilla se mueve en aducción (varo) para preparar el contacto inicial.

2.10.2.6 Cinemática de la rodilla en el plano transversal

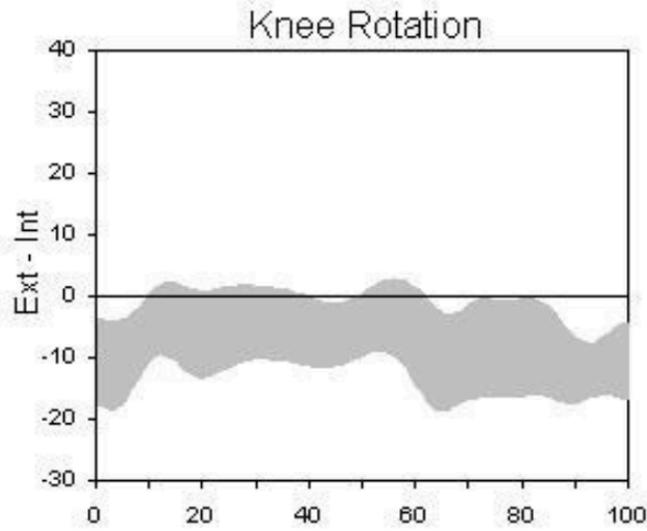


Figura 23. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la rodilla. Fuente: Kranzl⁵⁸

En el contacto con el talón, la rodilla se encuentra en posición de rotación externa a -10° . En la fase de apoyo se realiza un movimiento progresivo de rotación interna que pasa a rotación externa justo antes del despegue. Durante la fase de balanceo se

vuelve a producir un movimiento de rotación interna alcanzando su máximo de 0° en la fase del balanceo medio. En la última etapa del balanceo se vuelve a producir una rotación externa para preparar el contacto con el talón.

2.10.2.7 Cinemática del tobillo en el plano sagital

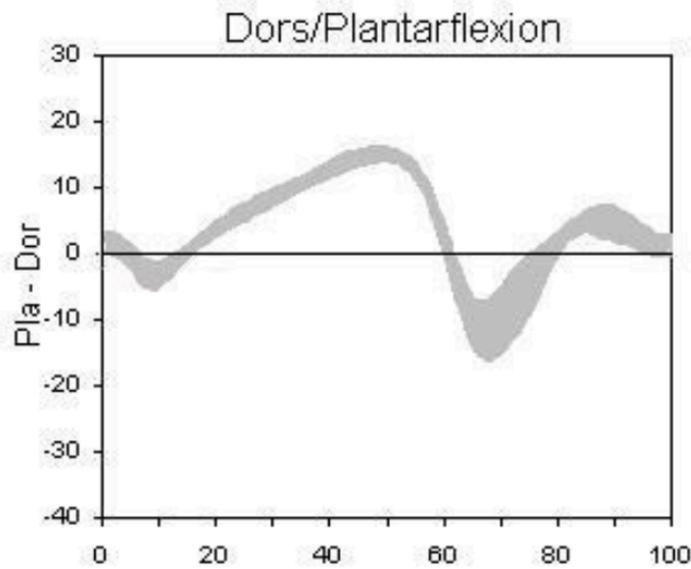


Figura 24. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano sagital a nivel del tobillo. Fuente: Kranzl⁵⁸

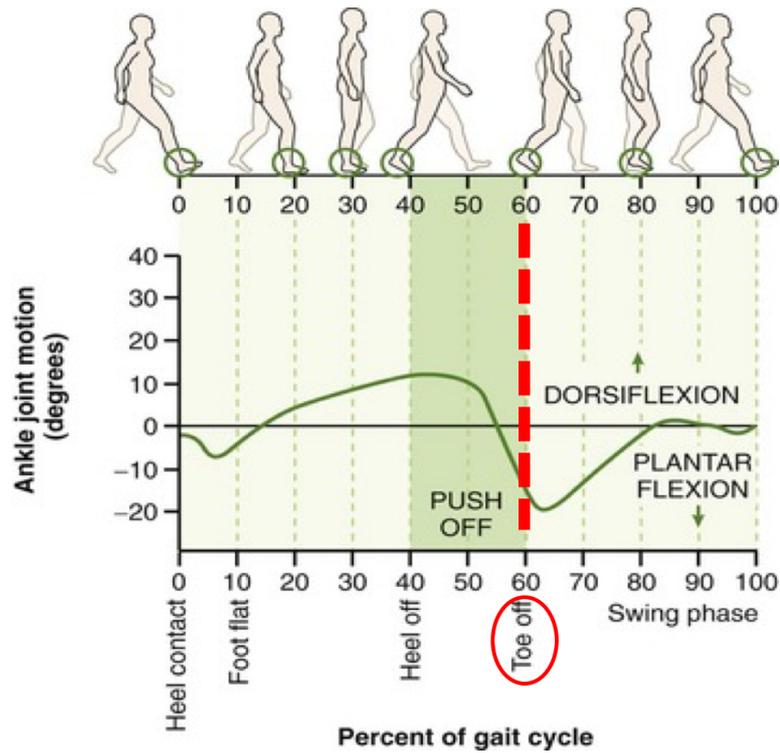


Figura 25. Correlación en el tiempo entre la cinemática del tobillo en el plano sagital y la marcha en una persona.

Fuente modificada: Neumann.⁵⁹

a) Contacto del talón hasta el apoyo medio

En el momento del contacto del talón, el tobillo se encuentra en posición neutra (a medio camino entre la dorsiflexión y la flexión plantar). Posteriormente el tobillo empieza a moverse en flexión plantar hasta los -5 grados de flexión plantar (cuando la planta de pie está en contacto con el

suelo). Durante la fase de apoyo medio, la articulación del tobillo esta entre 1-5 grados de dorsiflexión.

b) Entre apoyo medio y despegue del pie

En el apoyo medio, aumenta la dorsiflexión del pie. Con el despegue del talón, la articulación del tobillo alcanza un máximo de 15 grados de dorsiflexión. Tras el despegue la articulación pasa a unos -20 grados de flexión plantar.

c) Fase balanceo

Entre la elevación del pie y el punto medio del balanceo, el pie se mueve de flexión plantar a una posición neutra que se mantiene durante el resto de la fase del balanceo.

2.10.2.8 Cinemática del tobillo en el plano coronal

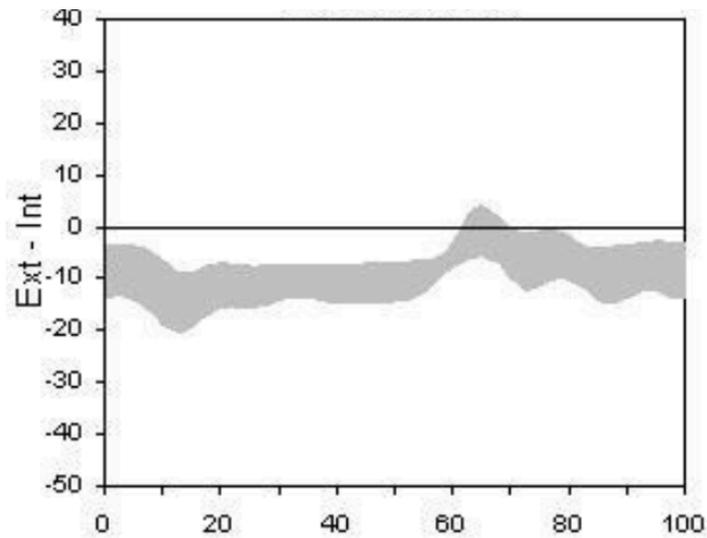


Figura 26. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano frontal a nivel del tobillo. Fuente: Kranzl⁵⁸

Los movimientos angulares del tobillo en el plano frontal son más pequeños que los observados en el plano sagital.

Al contactar el talón con el suelo, el pie se encuentra en una posición de ligera inversión. Después del contacto del talón, el pie rota en ligera eversión cuando la parte anterior del pie contacta con el suelo llegando hasta los -20 grados. Durante la fase media de apoyo, la parte posterior del pie pasa de eversión a una posición de inversión alcanzando un máximo de 10° durante

el despegue y que desciende progresivamente durante la fase de balanceo.

2.10.2.9 Cinemática del tobillo en el plano transversal

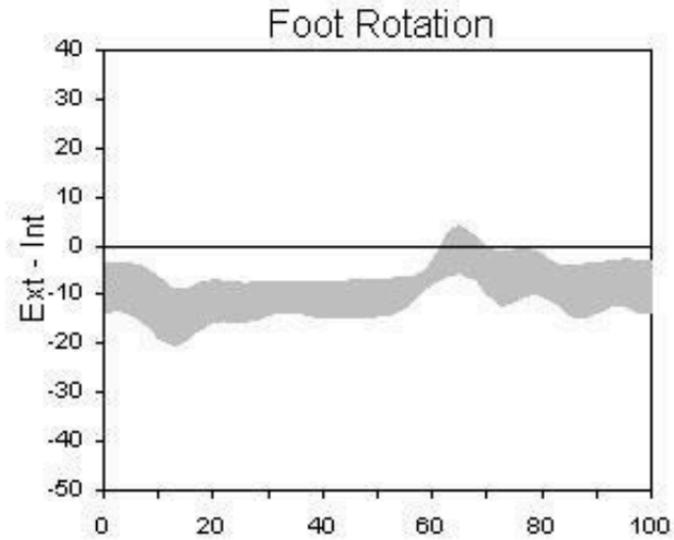


Figura 27. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de un grupo control ± 1 DS en el plano transversal a nivel del tobillo. Fuente: Kranz⁵⁸

La cinemática del tobillo en el plano transversal hace referencia al ángulo de progresión del pie. El ángulo de progresión del pie es el ángulo entre el eje del pie y la línea de progresión del piso. Los valores negativos, son característicos de una marcha tipo intoeing.

Durante el contacto del talón, el tobillo se encuentra en una posición neutra. Después del contacto del talón, el tobillo realiza un aumento progresivo en la rotación externa alcanzado un máximo de -20° en el despegue. Durante la fase de oscilación, el tobillo rota hacia interno hasta alcanzar la posición neutra y preparar nuevamente el contacto con el talón.

2.10.3 Análisis de las curvas cinéticas. Fuerzas de reacción del suelo

Para que se pueda realizar la marcha se necesita un plano fijo (por ejemplo, el suelo) sobre el que se aplican las fuerzas ejercidas por la gravedad y las ejercidas por el cuerpo mediante la acción muscular. Las fuerzas ejercidas que permiten la marcha se miden con plataformas dinamométricas en el laboratorio de la marcha y se evalúan mediante el estudio de gráficas (Figura 28). Las fuerzas analizadas son las siguientes:

1. Fuerza de acción vertical: Es la de mayor magnitud. Esta fuerza esta en relación con la gravedad y representa el peso del cuerpo que actúa sobre el pie. Al estudiar la gráfica se observa una curva (azul) con dos picos que corresponden al choque y al despegue del talón. El valle corresponde a la fase de apoyo monopodal en que todo el

peso del cuerpo recae sobre la extremidad inferior que esta apoyada en el suelo (Figura 28).

2. Fuerza de acción antero-posterior: Esta fuerza representa las fuerzas de fricción entre el pie y el suelo en el plano antero-posterior. La curva (verde) inicial indica el frenado que se produce con el talón y alcanza el máximo en la fase de doble apoyo. Posteriormente disminuye al realizar el apoyo monopodal y después se observa otro pico que indica de nuevo el inicio de la fase de apoyo bipodal (Figura 28).
3. Fuerza de acción medio-lateral: Es la de menor magnitud (rojo). Refleja las desviaciones laterales del pie durante la marcha. A mayor amplitud, mayor inestabilidad del sujeto (Figura 28).
4. Fuerza de torsión: traducen los movimientos de rotación interna y externa de la extremidad inferior durante la deambulación.

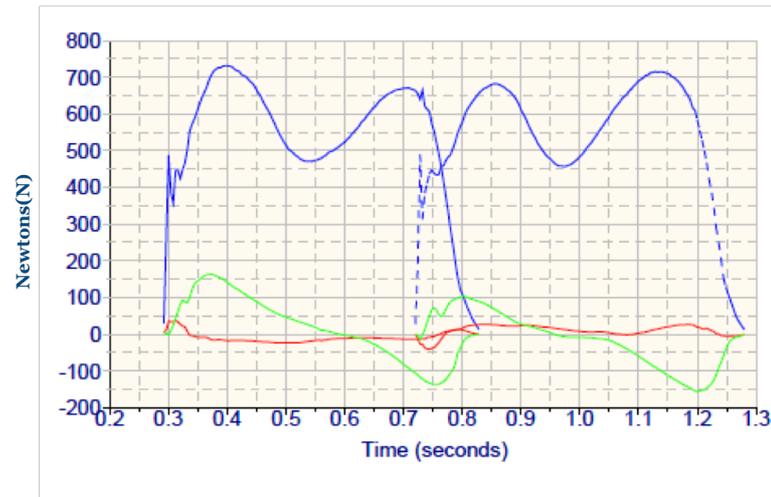


Figura 28. Gráfica de las fuerzas. En azul se representan las fuerzas verticales, en rojo las medio-laterales y en verde las antero-posteriores. Fuente modificada: Collado.⁶⁰

2.11 Factores que intervienen en la marcha

Existen dos factores primordiales que intervienen directamente sobre la marcha: la edad y el calzado.

Los patrones de la marcha del niño y del adulto difieren significativamente y por ello mismo es importante realizar los análisis biomecánicos una vez el niño ha desarrollado el patrón adulto que suele alcanzarse entre los 5-7 años.^{53,61}

De forma resumida, la marcha del niño se caracteriza por tener una menor longitud de paso y velocidad. Realizan el contacto inicial con el pie completo en vez de con el talón. Tienen una mayor tendencia hacia la rotación externa del miembro

inferior y presentan escasa flexión de la rodilla en la fase de apoyo. También muestran una ausencia de movimientos de oscilación recíprocos de los miembros superiores.⁶¹

El tipo de calzado también tiene un efecto sobre la cinemática y cinética de la marcha, sobretodo el uso de tacón. El uso de tacones aumenta la flexión plantar y rotación externa del pie dando lugar a una flexión de la rodilla y desplazamiento del centro de masa hacia delante. Para compensar el desplazamiento, las personas que usan tacón tienen que aumentar la flexión de cadera, rodilla y/o tobillo o aumentar la lordosis lumbar llegando a producir alteraciones en la biomecánica de la marcha.⁶² Por ello, es fundamental realizar los estudios biomecánicos sin calzado y cuando la marcha es propiamente adulta.

2.12 Causas de marcha patológica

Existen varias causas de una marcha patológica que se pueden agrupar en los siguientes grupos y subgrupos:

1. Anormalidades en el sistema musculoesquelético
2. Anormalidades del sistema neurológico
 - a. De origen central
 - b. De origen periférico

Entre las anomalías frecuentes del sistema musculoesquelético que causan una marcha patológica se encuentran: los acortamientos del miembro inferior, las anquilosis, las marchas antiálgica y los defectos del desarrollo muscular o distrofias musculares como es el caso del pie zambo según ciertos autores.^{7,10}

Los déficits neurológicos de origen central pueden producir una marcha atáxica, espástica, parkinsoniana, hemipléjica etc.

Por último, las lesiones del sistema nervioso periférico pueden producir parálisis de determinados grupos musculares (según el nervio afecto) tales como el glúteo medio, isquiotibiales, flexores dorsales del pie o del tríceps sural y producir una alteración en la marcha. En los casos de pie zambo complejo (resistentes al tratamiento conservador habitual) , algunos autores abogan por una posible neuropatía del nervio peroneo profundo.^{63,64}

2.13 La marcha del paciente con pie zambo tratado mediante cirugía extensa frente al método de Ponseti

La marcha del paciente con pie zambo ha tenido un interés creciente en los últimos años sobretodo gracias al desarrollo de los laboratorios biomecánicos. De todas formas, las conclusiones extraídas de muchos de estos estudios han de interpretarse con cautela puesto que a veces la metodología tanto de selección de la muestra como de análisis de datos es cuestionable.^{28,32,34,49,50}

En general, la mayoría de estudios apuntan a que los pacientes con pie zambo tratados mediante técnicas quirúrgicas agresivas (especialmente la técnica de liberación posteromedial) presentan una mayor alteración de la marcha que aquellos tratados mediante técnicas conservadoras como son el método de Ponseti y el método francés.^{28,29,32,34,38,48-50,51,65,66}

Según Smith et al. los pacientes tratados con la técnica de liberación posteromedial presentan una reducción en la velocidad de marcha, anchura de paso y presentan un aumento del tiempo de apoyo bipodal.³⁸

En cuanto a la cinemática y cinética, los pacientes con pie zambo tratados mediante la técnica de liberación posteromedial presentan una menor flexión plantar y potencia a nivel del tobillo durante el despegue cuando se comparan con el grupo control.²⁸ También es característico en este grupo de pacientes la presencia de una marcha calcánea que consiste en una flexión dorsal del tobillo mantenida durante todo el ciclo de la marcha.^{29,34,42,48-51,65}

Además, existe una mayor proporción de pacientes con una marcha tipo intoeing y una mayor proporción de pacientes con pie caído en el grupo quirúrgico que en el grupo conservador.²⁸

Por todo ello y a pesar de ciertas contradicciones en los resultados expuestos, los estudios acaban concluyendo que el tratamiento conservador es superior a las técnicas de liberación agresivas.

2.14 Justificación

El pie zambo, es una de las malformaciones congénitas más frecuentes en traumatología infantil. Un adecuado diagnóstico y tratamiento precoz puede corregir la deformidad, de tal manera que el paciente tenga un pie plantígrado con ausencia de dolor y una marcha lo más fisiológica posible.

Durante los últimos años ha habido una tendencia creciente hacia el uso del tratamiento conservador debido a los resultados obtenidos con el método Ponseti cuando lo compararon con técnicas de liberación agresivas tales como la liberación posteromedial y posterolateral.^{28,32,34,38,48,49,65} Pero, a día de hoy, no existe ningún estudio que compare de forma aislada la técnica de liberación posterior, la técnica de elección en nuestro centro durante varios años, con el método Ponseti en un grupo de edad determinado.

Más específicamente, la técnica de liberación posterior se realizó en nuestro centro hasta el año 2006 y progresivamente fue reemplazada por el método Ponseti según la aceptación de los cirujanos de la Unidad. Este hecho cronológico pone de manifiesto que existe en la actualidad una parte importante de la población que ha recibido un tratamiento diferente al tratamiento estándar. Además, el hecho de que han existido técnicas quirúrgicas diferentes (unas más agresivas que otras), puede indicar que posiblemente no todos los pacientes quirúrgicos tengan la misma función.

Por todo ello, en el presente estudio se pretende objetivar mediante un análisis de diferentes módulos de evaluación si el método de Ponseti proporciona realmente un mejor estado funcional clínico y un mejor patrón de la marcha frente a los casos tratados mediante una técnica menos agresiva sobre las partes blandas como es la técnica de liberación posterior, comparando ambos grupos con un grupo de control sanos.

OBJETIVOS

El **objetivo principal** de este estudio consiste en valorar la evolución clínica de los niños tratados mediante el método de Ponseti frente a los tratados mediante la técnica de liberación posterior a través del análisis de diferentes módulos: exploración física, estudios radiográficos, escalas funcionales y análisis biomecánico (cinemático y cinético) de la marcha.

Los **objetivos secundarios** del proyecto son:

1. Describir el patrón de marcha en niños con pie zambo con edades comprendidas entre los 7-12 años tratados con el método de Ponseti.
2. Describir el patrón de marcha en niños con pie zambo con edades comprendidas entre los 7-12 años tratados con la técnica de liberación posterior.
3. Comparar y relacionar los resultados de cada módulo con el resultado biomecánico obtenido, desde la perspectiva de su repercusión clínica.
4. Establecer la prevalencia de astrágalo plano en la población de estudio con pie zambo.
5. Conocer si existe una correlación entre el tipo de tratamiento y presencia de astrágalo plano. Conocer si existe una correlación entre tener un astrágalo plano y presentar una marcha más alterada independientemente del grupo de tratamiento.

MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Muestra de estudio

Estamos ante un estudio de casos y controles en el que se evaluó los resultados a largo plazo del tratamiento quirúrgico, el método Ponseti y un grupo control en un grupo de edad del desarrollo específico (la preadolescencia) a través del análisis del examen físico, radiográfico, cuestionarios, cinética y cinemática de la marcha. El diseño del estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Biomédica del Instituto de Investigación Sanitaria La Fe con el número 2014/0030 el día 9 de diciembre de 2014 (Anexo 1. Autorización).

Los criterios de inclusión del estudio fueron todo paciente con diagnóstico de pie zambo congénito idiopático tratado exclusivamente con alguno de los 2 métodos (método de Ponseti o liberación posterior) entre 2004 y 2009 en nuestro centro y que además cumpliera la edad de estudio en el momento de análisis (7-12 años). Todos los pacientes fueron tratados por uno de los 5 miembros que en esos momentos formaban parte de la Unidad de Cirugía Ortopédica y Traumatología Infantil. Hasta el 2006 todos los pacientes fueron tratados con la técnica de liberación posterior y a partir de entonces se incorporó progresivamente el método de Ponseti. La severidad del pie no determinó la elección de un tratamiento u otro. La elección del tratamiento tuvo una causa cronológica y según la aceptación de cada cirujano.

Aquellos pacientes con pie zambo sindrómico, patología neuromuscular o neurológica, que hubieran comenzado el

tratamiento con más de 6 meses de edad, con cirugías previas de miembros inferiores u otro tipo de intervenciones (liberación posteromedial o posteromedial-lateral) y/o pacientes con disimetrías >2 cm fueron excluidos del estudio para evitar alteraciones en el análisis de los resultados.

Para reclutar los pacientes patológicos, se realizó una revisión de la base de datos de la Unidad de Cirugía Ortopédica y Traumatología Infantil mediante la búsqueda manual por diagnóstico de pie zambo idiopático en los archivos de la Unidad durante el periodo de 2004-2009.

A continuación, se configuró una tabla en el programa Excel con los siguientes apartados: número de historia clínica (NHC) o sistema de información poblacional (SIP), fecha de nacimiento, pie zambo unilateral o bilateral, fecha de intervención quirúrgica, otras cirugías, cirujano responsable, domicilio, teléfono, causa exclusión, número de pies en los que se realizó la técnica de liberación posterior y número de pies en los que se realizó el método de Ponseti. El nombre y apellidos de los pacientes fue apuntado en otra hoja de Excel diferente con su correspondiente NHC para protección de datos.

En esta primera fase, se encontraron en la base de datos de nuestro centro 98 pacientes (59 tratados mediante la técnica de liberación posterior y 39 tratados mediante el método de Ponseti).

A continuación, se programaron las visitas en las Consultas de Traumatología Infantil en la 2º planta torre B de nuestro centro por las tardes (lunes y miércoles 15:00-20:00). Los

pacientes se reclutaron por vía telefónica, donde el investigador principal llamó personalmente a las familias para explicar el objetivo del estudio y su libre participación.

De los 98 pacientes, 45 pacientes fueron excluidos por diversos motivos. 19 de ellos fueron excluidos por presentar otras patologías que estaban reflejadas en la historia (parálisis cerebral infantil (8), disimetrías >2 cm (5), liberación posteromedial (4) y pie zambo sindrómico (2)).

Además 26 pacientes nunca contestaron a las llamadas telefónicas o no se pudo contactar con ellos por cambio de domicilio.

Por lo tanto, se obtuvo una tasa de seguimiento aproximadamente del 54% (53/98). Se localizaron 31 pacientes tratados mediante la técnica de liberación posterior (45 pies patológicos) y 22 pacientes tratados mediante la técnica de Ponseti (34 pies patológicos). Se adjunta tabla del resumen de la base de datos inicial (Anexo 2. Base de datos).

Por otro lado, se realizó de forma paralela el reclutamiento de los pacientes control. Los criterios de inclusión eran pacientes entre 7-12 años (preadolescencia) sin ningún tipo de patología en los miembros inferiores.

Primero se empezó por reclutar pacientes que acudían de forma programada a las Consultas de Traumatología Infantil, pero dado que la mayoría de los pacientes citados presentaban patología concomitante en miembros inferiores la tasa de reclutamiento era muy baja y se optó por otro método.

Por lo tanto, se decidió reclutar los pacientes en la Consultas de Traumatología Infantil de Urgencias de nuestro centro. El investigador principal en aquel momento realizaba una media de 4 guardias de traumatología infantil mensuales y atendía una media de 20-30 pacientes por guardia. Los criterios de selección de la muestra control se realizó de la siguiente forma. Los pacientes que acudieron por traumatismos de baja energía en el miembro superior y que fueron dados de alta administrativamente con lesiones de buen pronóstico se les explicó a los padres y al niño la posibilidad de participar en el proyecto de análisis de la marcha sin ningún tipo de obligación.

Los padres interesados dieron su consentimiento y los pacientes fueron apuntados en una hoja Excel con nombre, apellidos y un teléfono de contacto.

Se reclutaron 25 pacientes control con una edad de 7-12 años. Los pacientes fueron localizados y citados en las Consultas de Traumatología Infantil en la 2º planta torre B de nuestro centro por las tardes (lunes y miércoles 15:00-20:00).

3.1.1 Verificación del tamaño muestral. Precisión en la descripción de variables y potencia en las comparaciones

Aunque el tamaño de la muestra ha venido determinado por la disponibilidad de pacientes intervenidos en el centro durante un periodo específico, y que además verificasen los criterios de inclusión, se ha comprobado que el tamaño final es adecuado para los objetivos del trabajo.

Para ello se han seguido dos criterios.

- a) Obtener suficiente precisión en la descripción de las variables en los grupos de Liberación Posterior y Ponseti
- b) Obtener potencia suficiente en la comparación entre tratamientos y con la muestra de control

3.1.1.2 Precisión en la descripción de variables

El tamaño debe ser suficiente para describir las variables con el margen de error predeterminado. En el caso de las variables analizadas y asumiendo una distribución normal, el error esperado en la determinación de las medias viene dado por la siguiente expresión, para un intervalo de confianza del 95% donde e es el error en la estimación de la media, σ es la desviación típica en la población y N el tamaño muestral. En nuestro caso, el grupo más comprometido es el de Ponseti con $N= 34$ pies. Aplicando la fórmula

$$\frac{e}{\sigma} = \frac{1,96}{\sqrt{N}}$$

se obtiene que el error en la descripción de las medias de las variables será inferior a 0.33 desviaciones típicas de cada variable. Para el caso de LP, el error máximo será del orden de 0.29 d.t. En ambos casos se considera suficiente, ya que se trata de valores similares a otros estudios.^{28,29,32,34,37,38,49,50,51,65-67}

3.1.1.3 Potencia en la comparación de tratamientos

Para la estimación del tamaño muestral que permita detectar el efecto del tratamiento se ha utilizado el software G*Power, versión 3.1.9.2 (Universität Düsseldorf). Se ha considerado un $\alpha=0.05$ y una potencia $(1-\beta)=0.8$. Para el tamaño muestral elegido (34 elementos en el grupo Ponseti y 45 en el de Liberación Posterior), se pueden detectar diferencias entre medias de $f= 0.6$ desviaciones típicas entre grupos.

3.2 Protocolo de valoración de los pacientes

Se estableció un protocolo de valoración de los pacientes para evaluar de forma organizada los diferentes parámetros a analizar (*Anexo 3. Plantilla*).

De forma más específica, en las consultas externas de Traumatología Infantil, los padres recibieron una Hoja de Información al Paciente (HIP). En este apartado se explicaba el proyecto de investigación y que la participación era voluntaria. Además, proporcionaba un número de contacto en caso de dudas (*Anexo 4. HIP*).

A continuación, los padres o representante legal firmaban un consentimiento informado para participar en el proyecto de investigación (*Anexo 5. Consentimiento informado*).

Seguidamente, se detallan los siguientes subapartados del protocolo.

3.3 Anamnesis y exploración física

En este apartado, se interrogó a los padres sobre la semana del parto del paciente, antecedente tabáquico materno e historia familiar de pie zambo. Dado que el origen del pie zambo es desconocido hicimos hincapié en estas cuestiones porque se han considerado factores de riesgo para la aparición de pie zambo.¹

Además, confirmamos la edad y sexo del paciente, la presencia de afectación unilateral o bilateral de los pies, la presencia y número de cirugías en el pie, así como las vías de abordaje evidentes en la piel. Era importante anotar el número de cirugías adicionales en esta sección dado que la evaluación de la recidiva de la deformidad era una variable importante para analizar la eficacia de una técnica sobre la otra. Además, el tipo de recidiva de la deformidad se clasificó en recidiva menor o mayor tal y como la propuso Haft.⁶⁸ Se definió como recidiva menor si la cirugía adicional para corregir la enfermedad era un procedimiento extra-articular sobre las partes blandas tales como los alargamientos o las transferencias tendinosas. Se consideró una recidiva mayor si el paciente precisó de procedimientos sobre alguna articulación o algún tipo de cirugía correctora ósea. No se anotó el grado de severidad de la deformidad según las escalas habituales de Dimeglio o Pirani porque no se encontraba registrado en las historias clínicas. De todas formas, al ser la selección del tratamiento de características cronológicas,

consideramos que la distribución de los grados de severidad debería ser parecida en los dos grupos.

En la camilla de exploración médica se evaluó los grados de movilidad pasiva de las caderas (flexo-extensión y rotación externa e interna), rodillas (flexo-extensión) y tobillos (flexión dorsal/plantar y flexión dorsal/plantar con rodillas flexionadas, eversión/inversión) con un goniómetro para valorar la rigidez y rango articular.

También se realizaron medidas antropométricas tales como la medición de la circunferencia de las pantorrillas, dado que los pacientes con pie zambo suelen tener una disminución de la masa muscular del musculo tríceps sural.⁴⁰ Se midieron en este momento también la longitud del pie desde la base del calcáneo a la punta del 1º dedo, y la presencia o no de disimetrías con el test de Galeazzi y Ellis. Ante la sospecha de una disimetría significativa >2cm, se solicitaba adicionalmente una telerradiografía de miembros inferiores.

Posteriormente, el paciente pasaba al podoscopio para valorar la huella plantar (pie plano, pie cavo o normal), la alineación del retropié y corrección con test de Coleman (si varo del retropié), la presencia de queratosis plantar/tipo de Rocker y la capacidad de ponerse de puntillas (valorar el m. tibial posterior que suele estar afectado en pacientes con pies planos valgus). Se tomaron fotografías con el permiso de los padres desde las rodillas hasta los pies de cada paciente durante el apoyo en el

podoscopio (visión anterior, lateral y posterior) y se guardaron en un disco externo de forma codificada con el NHC/SIP.



Figura 29. Paciente sobre el podoscopio donde se aprecia el valgo del retropié bilateral, más pronunciado sobre el lado izquierdo.



Figura 30. En el mismo paciente, vemos la incisión de la vía de abordaje de la liberación posterior y el valgo excesivo del retropie.



Figura 31. Visión del podoscopio para ver la huella plantar. Podemos apreciar la huella normal del pie izquierdo, y la huella característica de un pie plano por una posible sobre-corrección en el lado derecho patológico.

Además, se midió y peso al paciente en la báscula para valorar el índice de masa corporal.

Por último, se le preguntó al paciente por su talla de zapato (dado que los pacientes con pie zambo suelen tener un pie más pequeño que el pie sano) y se anotó el desgaste de la suela del zapato (para valorar el tipo de pisada).

Todos los parámetros descritos fueron anotados en la base de datos generada con el sistema de análisis estadístico SPSS.

3.4 Cuestionarios

Tras el examen físico se rellenaron los tres cuestionarios.

1. Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI)- (*Anexo 6. PODCI*).
2. Foot and Ankle Disability Index Score (FADI) – (*Anexo 3. Plantilla*).
3. The American Orthopedic Foot and Ankle Score (AOFAS)- (*Anexo 3. Plantilla*).

Las preguntas se realizaron tanto a los padres como a los niños. El investigador principal rellenaba el cuestionario según las respuestas de los padres y contestaba/aclaraba las cuestiones que surgiesen de las preguntas. Las preguntas objetivas del AOFAS las rellenó el investigador principal.

La versión del Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI) consistía en una versión traducido al español.

Las versiones del Foot and Ankle Disability Index Score (FADI) y el American Orthopedic Foot and Ankle Score (AOFAS) fueron traducidas al español por el investigador principal.

Las puntuaciones finales del PODCI (PODCI global) con sus 5 correspondientes subapartados (miembro superior, transferencias, deportes, dolor, felicidad), del FADI y del AOFAS fueron anotados en la base de datos generada con el sistema de análisis estadístico SPSS.

3.5 Parámetros radiográficos

3.5.1 Deformidad residual

Se solicitó a todos los pacientes del estudio con pie zambo idiopático tratados con la técnica de liberación posterior o método de Ponseti una serie de radiografías en bipedestación anteroposterior y lateral de tobillos y pies salvo que tuvieran una radiografía reciente (<1 año). Además, si el paciente presentaba una disimetría evidente de >2 cm en la E.F, se solicitó una telerradiografía de medición de extremidades inferiores para confirmar dicha sospecha y así poder excluir al paciente del estudio.

Las proyecciones radiográficas elegidas se utilizaron para posteriormente medir una serie de parámetros que evaluaban de forma estática la deformidad residual de los pies corregidos. Todas las mediciones se realizaron con la colaboración y tutorización del especialista de radiología de nuestro centro, el Dr. Alexandre Perez-Girbes. Los parámetros radiográficos que se evaluaron fueron los siguientes:

En la radiografía anteroposterior se evaluaron:

1. El ángulo astrágalo-1º metatarsiano: para valorar la presencia de aducto residual del antepié.

2. El ángulo astrágalo-calcáneo: para valorar el varo/valgo del retropié.

En la radiografía lateral se evaluaron:

1. El ángulo astrágalo-calcáneo: para valorar el varo/valgo del retropié.
2. El ángulo de Moreau Costa Bartani externo: para valorar pie cavo/plano.

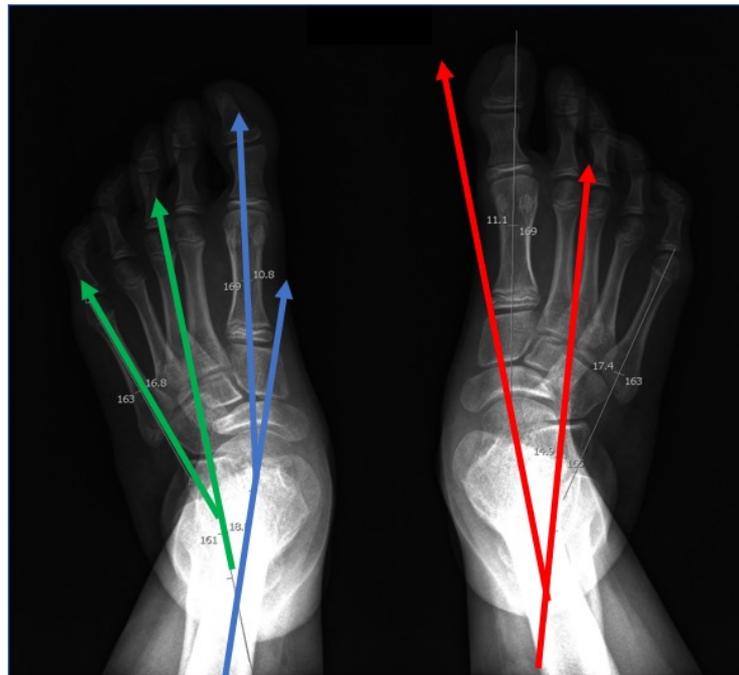


Figura 32. Proyección anteroposterior de ambos pies en carga con las correspondientes medidas radiográficas (ángulo astrágalo-1º metatarsiano en azul, ángulo

astrágalo-calcáneo en rojo y ángulo calcáneo-5° metatarsiano en verde). El ángulo calcáneo-5° metatarsiano no se utilizó en nuestro estudio dado que es otra forma de medir el aducto de antepié que valoramos con el ángulo astrágalo-1° metatarsiano.

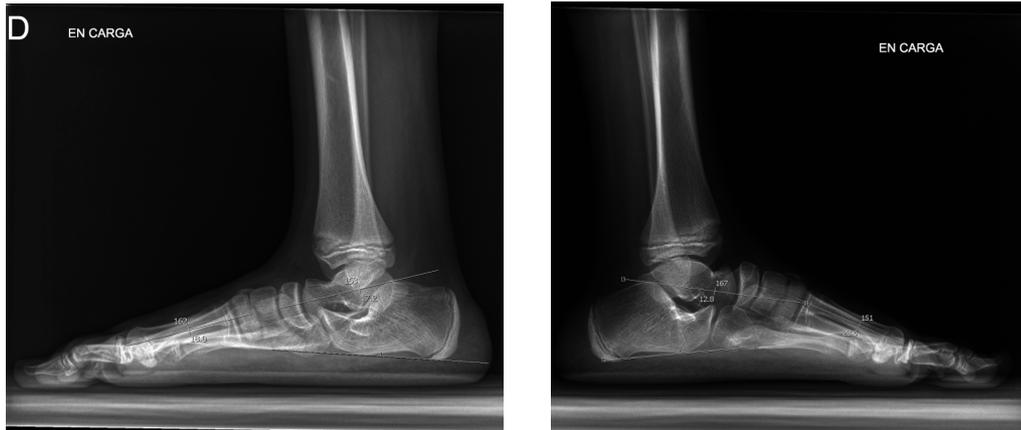


Figura 33. Proyección lateral de ambos pies en carga con las correspondientes medidas radiográficas (en este caso el ángulo astrágalo-calcáneo).

Por motivos éticos, decidimos no realizar radiografías al grupo control por el efecto dañino de la radiación ionizante. Por lo tanto, decidimos comparar los valores obtenidos en los grupos patológicos (método Ponseti y liberación posterior) con valores publicados de pacientes sanos en el mismo grupo de edad.^{32,69}

También se midió el grado de artrosis en las diferentes articulaciones del pie y tobillo en las radiografías solicitadas. Se evaluó el grado de artrosis a nivel de las articulaciones tibio-astragalina, astrágalo-navicular, subtalar, calcáneo-cuboidea y cuneiforme-navicular. Se utilizó la clasificación de Kellgren et al para describir el grado de artrosis del 0 al 4.⁴⁷

3.5.2 Astrágalo plano

Por otro lado, se registró la presencia o ausencia de astrágalo plano en los pacientes patológicos. Esto fue un hallazgo importante dado que el astrágalo plano no es una artrosis propia de la articulación (no existe pinzamiento del espacio articular, ni esclerosis, ni quistes subcondrales) sino una deformidad del astrágalo de causa desconocida que estaba presente en un porcentaje importante de la población patológica.

Para su correcto estudio, se diseñó una proporción para caracterizar la severidad del astrágalo plano. La proporción consistía en dividir la altura de la cúpula astragalina por la longitud del astrágalo en la proyección lateral en carga. Consideramos incorporar este apartado al estudio por los siguientes motivos:

1. Establecer la prevalencia de astrágalo plano en la población de estudio con pie zambo.

2. Conocer si existe o no una correlación entre el tipo de tratamiento y presencia de astrágalo plano dado que existe un estudio que correlaciona una mayor prevalencia de astrágalo plano con el tratamiento quirúrgico.⁷⁰
3. Conocer si existe una correlación entre tener un astrágalo plano con una marcha más alterada independientemente del grupo de tratamiento.



Figura 34. Pie zambo idiopático sin astrágalo plano. Ratio: 0.19



Figura 35. Pie zambo idiopático con astrágalo plano. Ratio: 0.1

Todos los valores fueron registrados en la base de datos de análisis estadístico SPSS.

3.6 Laboratorio biomecánico

Las medidas biomecánicas se realizaron en la Unidad de Valoración Funcional del Servicio de Rehabilitación del Hospital Universitario y Politécnico de la Fe de Valencia. Durante el desarrollo del proyecto, el Instituto de Biomecánica de Valencia instaló en nuestro centro un laboratorio para el análisis de la marcha. El laboratorio estaba equipado con el sistema Kinescan/IBV V2014 con un sistema de 8 cámaras. En la fase final del proyecto, las últimas mediciones se realizaron en el propio Instituto de Biomecánica de Valencia debido al traslado del laboratorio. Las mediciones en el laboratorio se realizaron entre el 2014-2017. Todos los pacientes que realizaron el estudio biomecánico respetaron los criterios de inclusión y exclusión además del periodo de edad (7-12 años).

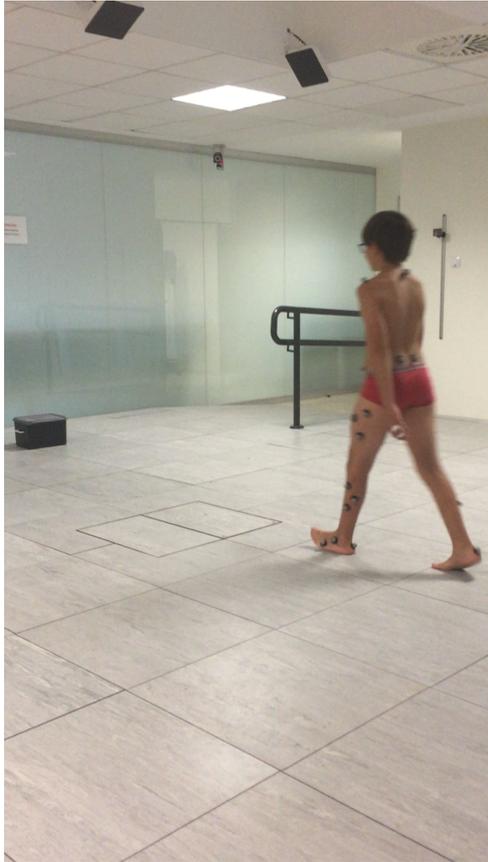


Figura 36. Paciente realizando el análisis de la marcha en el laboratorio de análisis biomecánico en el Hospital Universitario i Politécnico La Fe.

El sistema Kinescan/IBV V2014 estaba compuesto por los siguientes componentes:

- **8 cámaras Optitalk 250 SE.** Estas cámaras de última generación tenían una frecuencia máxima de 250

fotogramas por segundo. Además, cada cámara venía integrada con un foco de luz infrarroja basada en tecnología led. El foco de luz infrarroja era el responsable de iluminar los marcadores reflectantes en el paciente y el reflejo era captado de nuevo por la cámara la cual enviaba la información al ordenador para su procesamiento.



Figura 37. Cámara Optitalk 250 SE. Fuente: IBV⁷¹

- **Juego de marcadores reflectantes:** Estos marcadores se colocaban en referencias anatómicas concretas en cada paciente delimitando los segmentos corporales y articulaciones a estudio. En nuestro estudio utilizamos los marcadores reflectantes esféricos de tamaño mediano (18mm).



Figura 38. Marcadores de diferentes tamaños. De izquierda a derecha, marcadores grandes (25mm), marcadores medianos (18 mm) y marcadores pequeños (12 mm). Fuente: IBV.⁷¹

- **PC para el procesamiento de los datos con el software específico.** Había un ordenador en el laboratorio que realizaba las funciones de captura y procesamiento de los datos procedentes de las cámaras. Este ordenador estaba sincronizado para capturar datos de las 8 cámaras. El PC almacenaba los datos recibidos de las cámaras, así como las coordenadas 3D calculadas. El PC analizaba todas las variables definidas en el modelo biomecánico desarrollado en el IBV para análisis de la marcha.



Figura 39. Imagen del investigador principal y el fisioterapeuta durante la revisión de la toma de medidas.

- **Barrera doble de fotocélulas:** Se utilizaba para la medición de la velocidad del avance de la marcha.

La configuración del laboratorio era la siguiente:

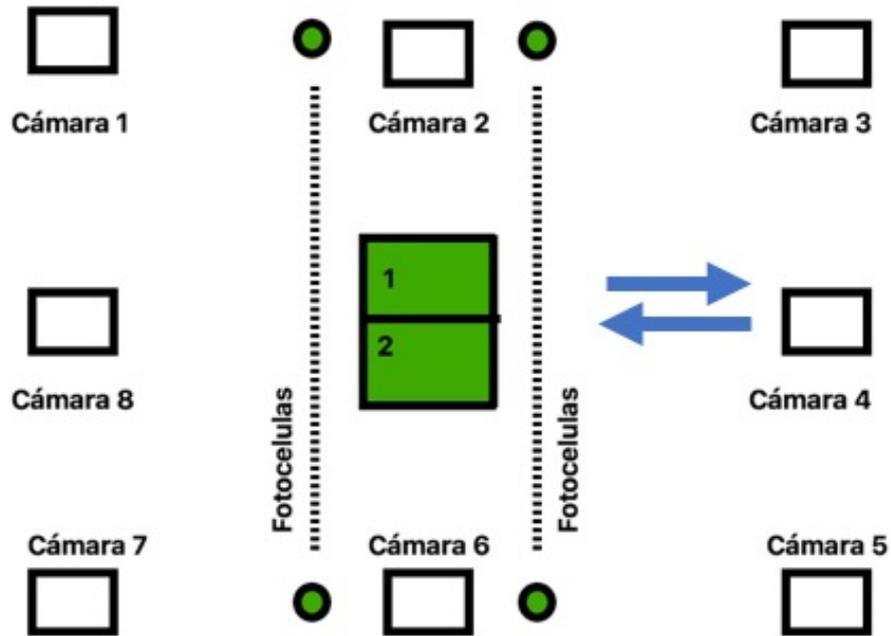


Figura 40. Configuración del laboratorio del HUPLaFe. Se puede apreciar las 8 cámaras, la doble barrera de fotocélulas y las 2 plataformas dinámicas en el centro de la sala. Las flechas indican la dirección (ida y vuelta) del pasillo de la marcha de 10m de longitud (desde la cámara 4 a la cámara 8).

3.7 Registro y tratamiento de los datos biomecánicos

3.7.1 El modelo biomecánico de la marcha

El modelo biomecánico de la marcha de nuestro estudio se basaba en un modelo diseñado por el IBV que precisaba de 35 marcadores (10 virtuales y 25 reales).

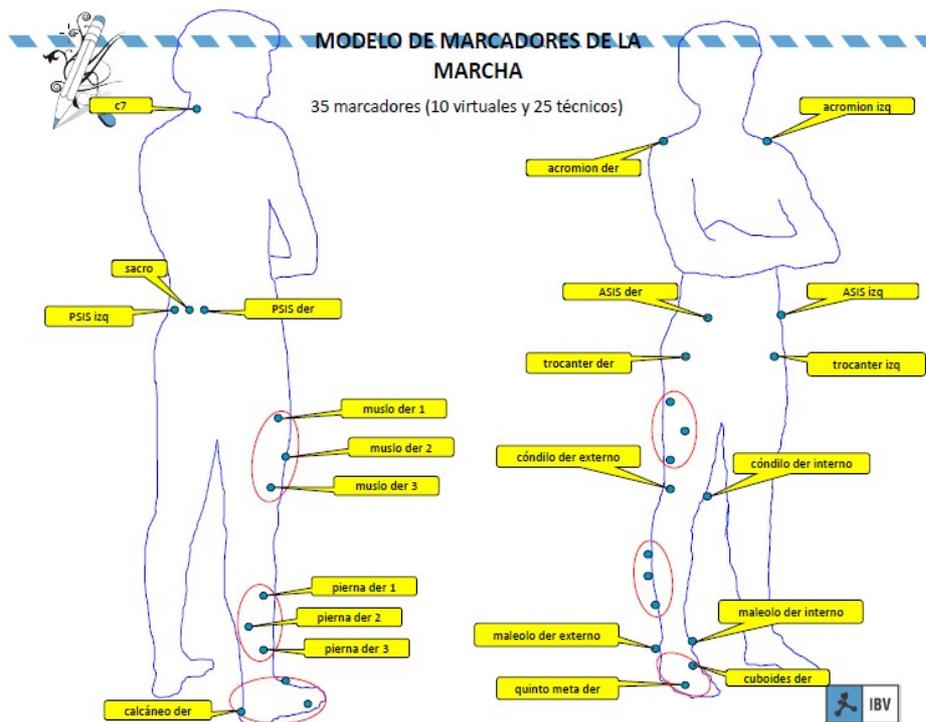


Figura 41. Modelo biomecánico de la marcha constituido por 35 marcadores, que define los segmentos del tronco, pelvis, muslo, pierna y pie. Fuente: IBV.⁷¹

De una manera más específica, los tipos de marcadores y referencias eran las siguientes:

- **10 marcadores virtuales.** Los marcadores virtuales eran aquellos que se quitaban después de la fase de calibración. El programa Kinescan/IBV era capaz de guardar e identificar estos marcadores en todo momento en el paciente basado en su relación con los otros marcadores reales. Estos marcadores se situaban en ambas piernas en las siguientes referencias anatómicas:
 - Maléolo lateral (2).
 - Maléolo medial (2).
 - Cóndilo lateral (2).
 - Cóndilo medial (2).
 - Trocánter mayor (2).

- **25 marcadores reales.** Eran aquellos marcadores que el paciente tenía que llevar puestos no solo durante la fase de calibración sino además durante el análisis de la marcha. Las referencias anatómicas eran:
 - Acromion derecho (1).
 - Acromion izquierdo (1).
 - C7 (1).

Estos tres marcadores definían el **segmento tronco**.

- Espinas iliacas anterosuperiores (2).
- Espinas iliacas posterosuperiores (2).

Estos cuatro marcadores definían el **segmento pelvis**.

- 3 marcadores en cada muslo, formando un triángulo con el vértice apuntando hacia anterior. Los marcadores tenían que colocarse en la parte lateral del muslo a nivel del tercio medio del fémur, evitando la zona anterior y posterior del muslo (total de 6 marcadores por paciente).

Estos seis marcadores definían el **segmento muslo**.

- 3 marcadores en cada pierna, formando un triángulo con el vértice apuntando hacia posterior. Los marcadores tenían que colocarse en la parte lateral de la pierna a nivel del tercio medio de la tibia, evitando la zona anterior y posterior de la pierna.

Estos seis marcadores definían el **segmento pierna**.

- Cabeza del quinto metatarsiano (2).
- Cuboides (2).
- Calcáneo posterior (2).

Estos tres últimos definían el **segmento pie**.

3.7.2 Toma de medidas

Todas las mediciones fueron realizadas por el investigador principal con la colaboración de un fisioterapeuta, Pedro López Ballester, que estaba contratado en aquel momento por el servicio de Rehabilitación para la gestión del laboratorio y que tenía una amplia experiencia en proyectos relacionados con análisis de la marcha.

Cuando llegaban los pacientes al laboratorio, se les encargaba a los padres de quitarles la ropa a los niños y dejarlos únicamente en ropa interior. Posteriormente colocábamos los marcadores.

En cada paciente comenzábamos con una medida de calibración, seguida de una medida de referencia y posteriormente 5 medidas de cada pie. Era primordial que los pacientes se sintieran cómodos y así poder obtener medidas que representasen una marcha lo más parecida a su marcha habitual. Para ello, explicábamos al paciente el ejercicio que debía realizar y posteriormente le dejábamos que practicara varias veces para que se sintiera relajado y seguro. A continuación, se explican las diferentes medidas.

3.7.2.1 Medida de calibración

Se colocaban 22 marcadores; 10 virtuales y solo 12 reales (los que definían el segmento muslo (6) y el segmento pierna (6)).

En dicha fase, el paciente se situaba de pie en el centro del laboratorio sobre la plataforma de fuerzas y en posición de abrazarse a sí mismo.

Esta fase, era muy importante comprobar que el ordenador registrase los marcadores para que las siguientes medidas fueran correctas.

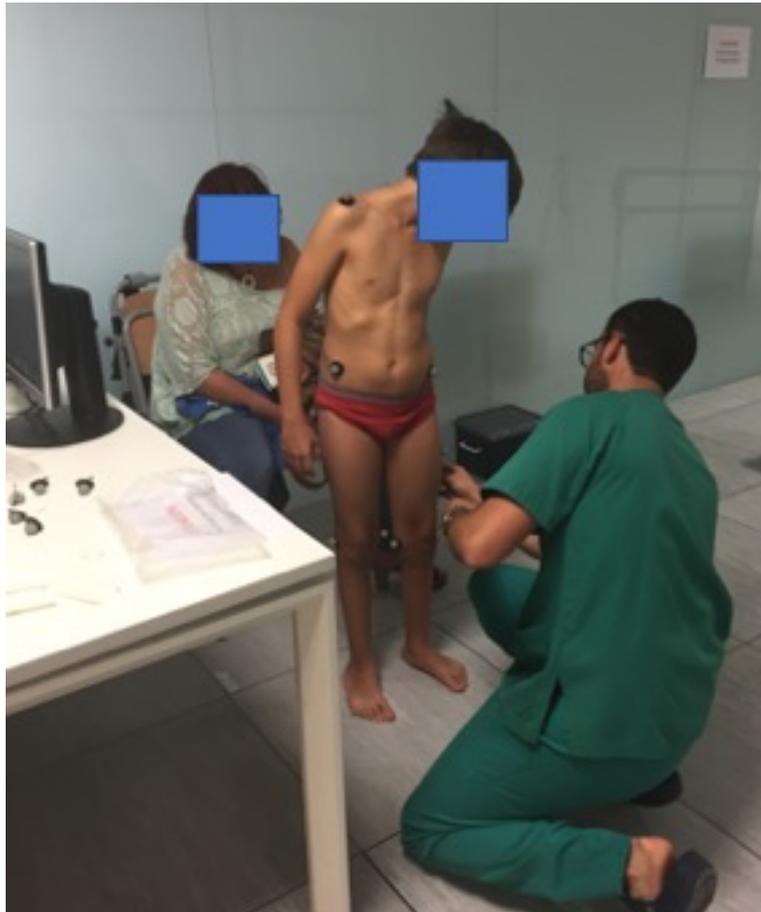


Figura 42. Investigador principal colocando los marcadores.

3.7.2.2 Medida de referencia

Para esta medida y las siguientes, hacían falta los 25 marcadores reales descritos anteriormente. El paciente se colocaba de nuevo sobre la plataforma, se quitaban los marcadores virtuales (10) y se colocaban los marcadores reales restantes (13).

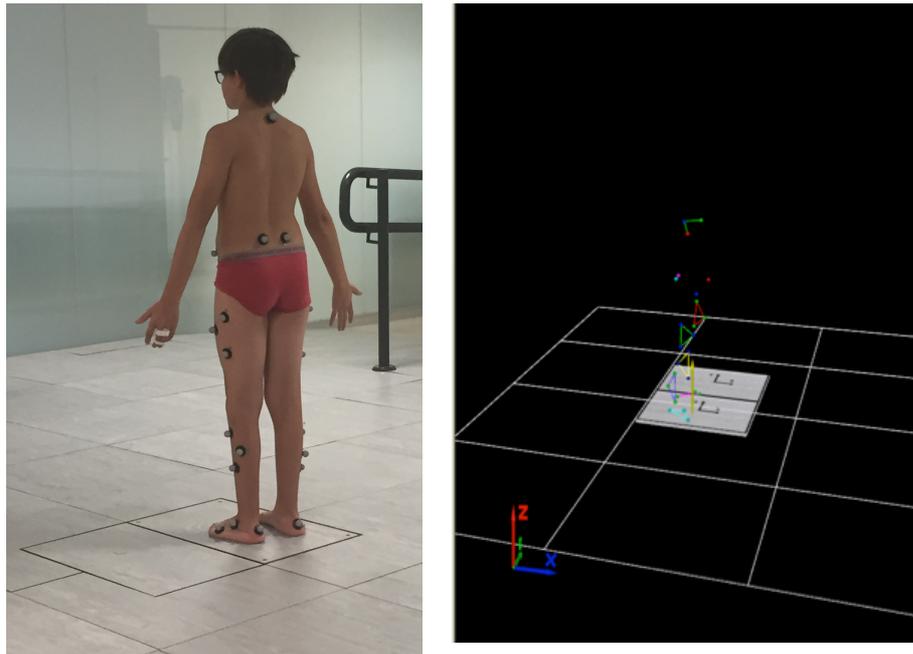


Figura 43. Paciente situado en el laboratorio en posición anatómica. A la izquierda, vista desde el plano posterior en un fotograma. A la derecha, vista desde el programa Kinescan, donde apreciamos la vista sagital de los segmentos corporales.

3.7.2.3 Medidas de un ciclo de la marcha del paciente

En este momento le indicábamos al paciente que se pusiera en un lado del laboratorio. Con la señal, el paciente cruzaba el pasillo de 10 m de largo. Este recorrido se grababa y comprobábamos que solo un pie hiciera contacto con una de las dos plataformas (pie izquierdo con la plataforma izquierda o pie derecho con la plataforma derecha) situadas en el centro del recorrido. Si era correcto, se registraba el lado del pie (derecho o izquierdo) y esa medida se delimitaba para abarcar un ciclo de la marcha completa de ese pie. Si ningún pie tocaba la plataforma o los dos pies tocaban la misma plataforma, esa medida no se registraba. Era importante que el paciente no supiera que solo un pie tenía que tocar una plataforma para que la marcha fuera lo más normal posible y no forzase los pasos para cuadrar la pisada con la plataforma correspondiente. Por ello mismo, modificábamos constantemente el punto de partida o el pie de inicio de la pisada de cada trayecto para así conseguir de manera indirecta las medidas que nos hacían falta. Por lo tanto, se le hacía al paciente repetir el trayecto hasta que consiguiéramos 5 medidas del pie derecho y 5 medidas del pie izquierdo.

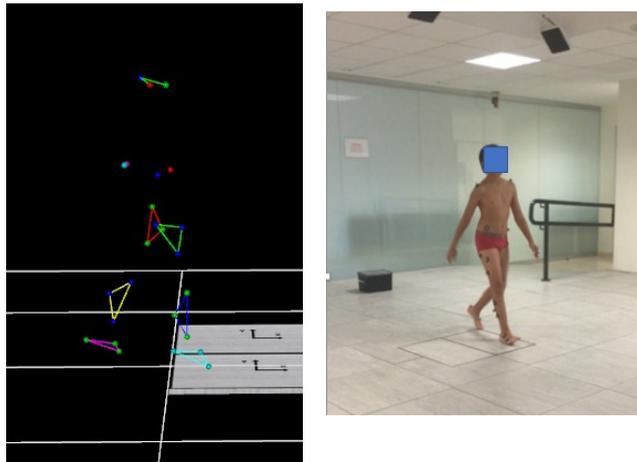


Figura 44. Paciente que acaba de realizar el apoyo del pie derecho. A la izquierda, vista desde el programa Kinescan. A la derecha, vista frontal en fotograma de la marcha.

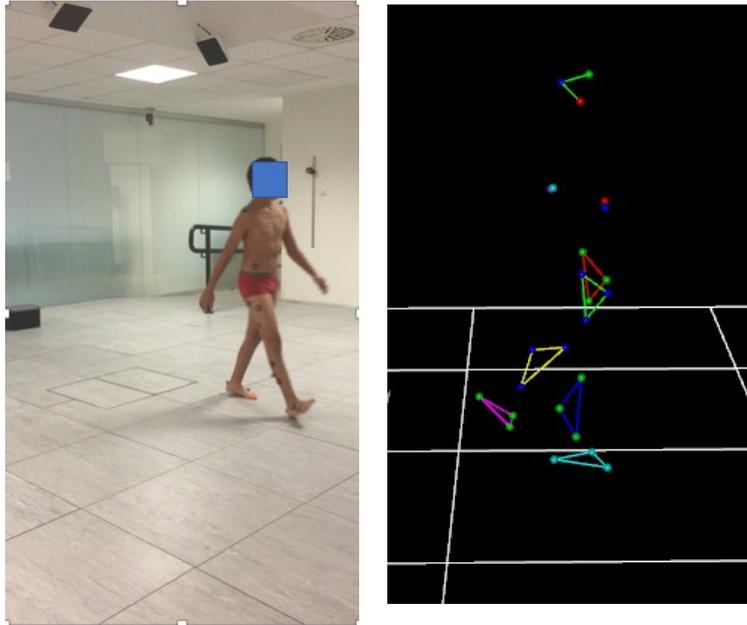


Figura 45. Paciente finalizando el ciclo de la marcha del pie derecho. A la izquierda, vista desde el programa Kinescan. A la derecha, vista frontal en fotograma de la marcha.

Una vez se habían tomado la medida de calibración, de referencia y las 10 medidas de la marcha (5 pisadas con el pie derecho y 5 pisadas con el pie izquierdo), se digitalizaban cada uno de los marcadores de cada medida dado que una de las desventajas del programa es que carecía de una digitalización automática.

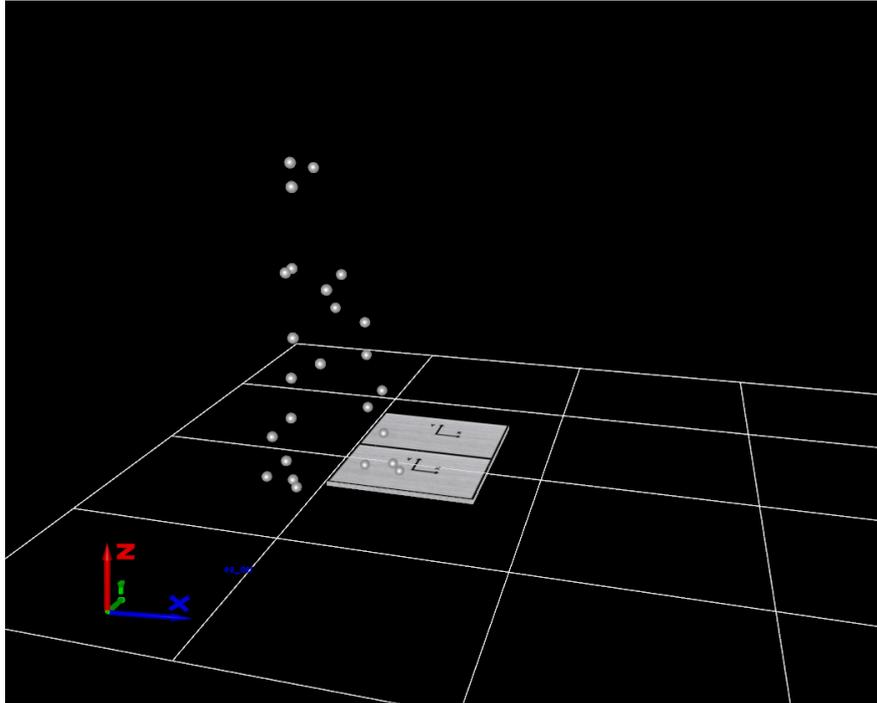


Figura 46. Visualización de la medida realizada sin digitalización de los marcadores.

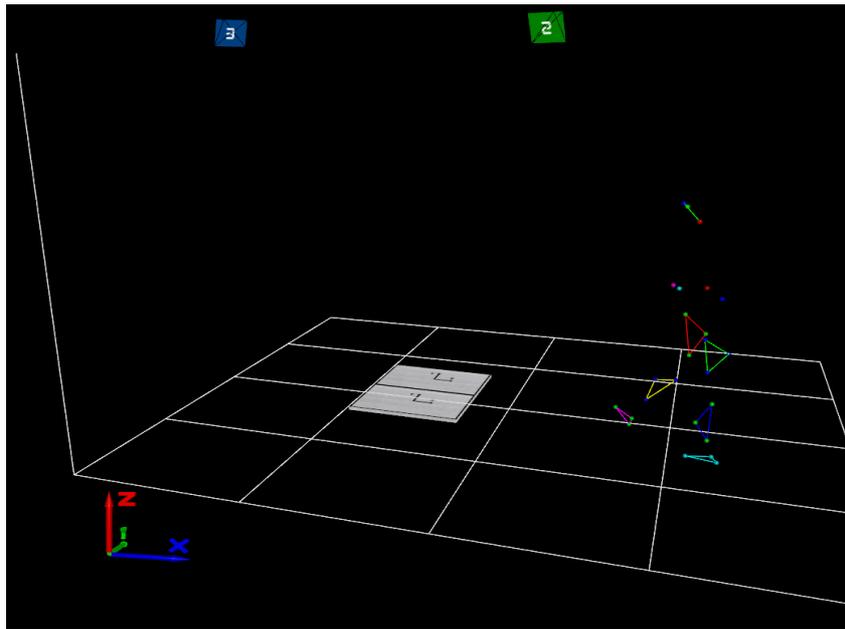


Figura 47. Visualización de la medida realizada con digitalización de los marcadores.

Una vez digitalizadas todas las medidas, se interpretaron las coordenadas con la aplicación de MATLAB (Natick, Massachusetts, USA) y NedGait. MATLAB es un software que convierte la información de las coordenadas en gráficas para su correcta interpretación. Nedgait es un software diseñado por el IBV que utiliza MATLAB y que además de mostrar gráficas, convierte las coordenadas en variables cuantitativas que representan las variables cinemáticas y cinéticas de interés y que puede a su vez exportar los valores a una tabla Excel.

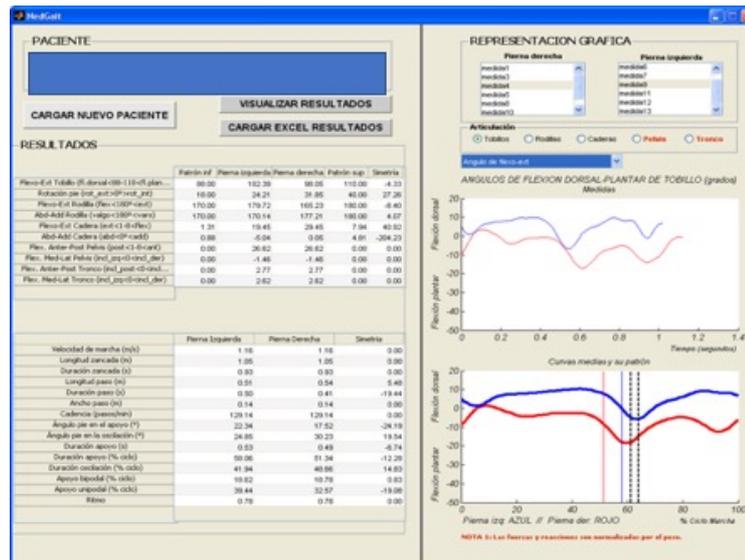


Figura 48. Aplicación del programa NegGait realizada explícitamente para el procesamiento de las coordenadas de los marcadores y la extracción de los parámetros cinemáticos y cinéticos de interés.

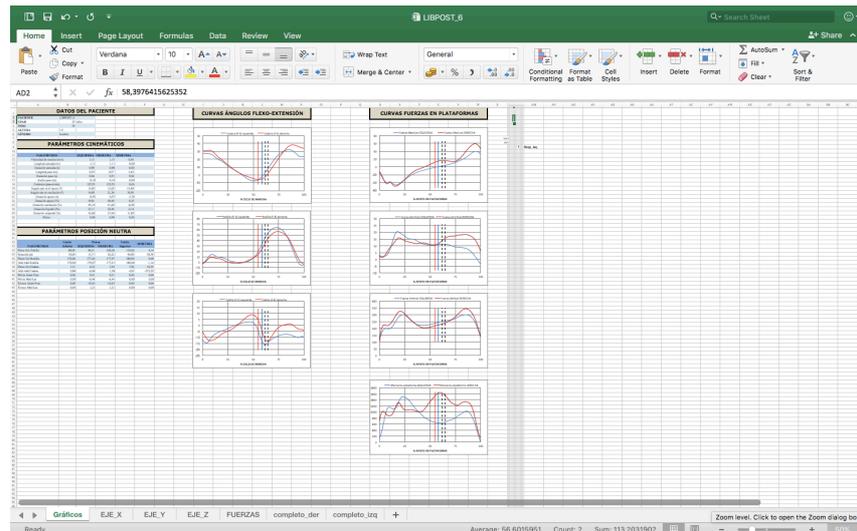


Figura 49. Resultados exportados de NegGait a una hoja de cálculo Excel.

3.7.3 Variables de análisis de cinemática y cinética de la marcha

El laboratorio biomecánico permitía estudiar el rango de movimiento y las fuerzas generadas a nivel articular en cualquier punto en el tiempo del ciclo de la marcha. En este estudio decidimos estudiar determinados parámetros espaciotemporales, cinemáticos y cinéticos que nos permitiese caracterizar, de una forma más exacta, la marcha de los pacientes con pie zambo tratados mediante las dos técnicas (Ponseti y liberación posterior) y compararla con la marcha de los 25 pacientes sanos del grupo control.

Las variables seleccionadas en consenso con el grupo de investigación y acorde con otros estudios relacionados de análisis de la marcha fueron los siguientes^{29,30,32,34,37,49,50,51,65,66,72}:

- Velocidad de la marcha (m/s)
- Longitud de paso (m)
- Tiempo de paso (s)
- Anchura de paso (m)
- Cadencia (pasos/minuto)
- Ángulo de progresión del pie
- Tiempo apoyo bipodal (s)
- Fase de apoyo (% ciclo de la marcha)
- Fase de oscilación (% ciclo de la marcha)
- Apoyo bipodal (% ciclo de la marcha)
- Apoyo unipodal (% ciclo de la marcha)
- Cinemática en el plano coronal, sagital y transversal a nivel de las caderas, rodillas y tobillos
- Fuerzas de reacción del suelo durante la marcha

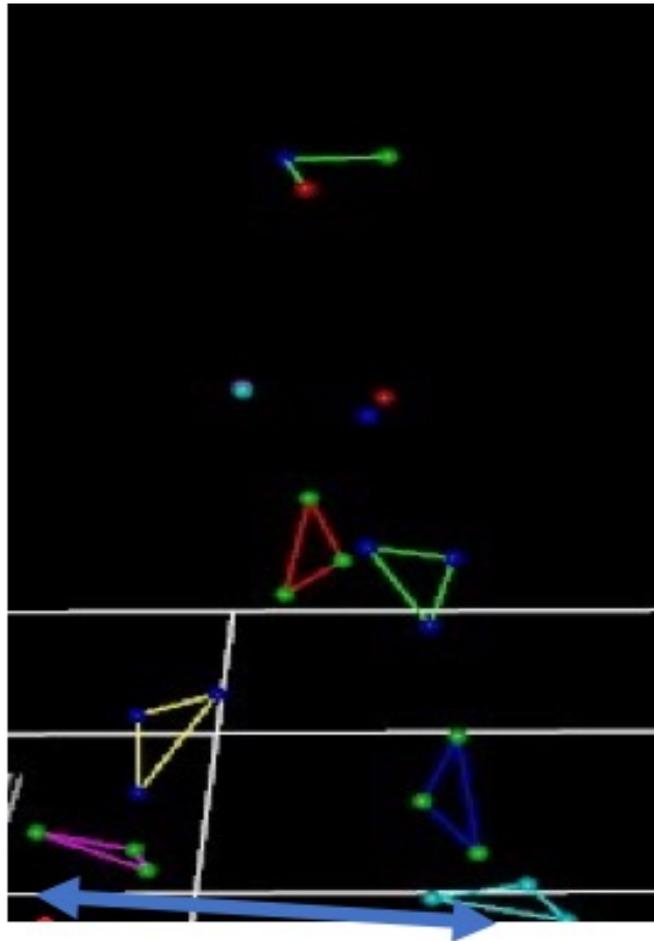


Figura 50. Visualización del programa Kinescan, mostrando la longitud de paso del miembro afectado, en este caso, miembro derecho.

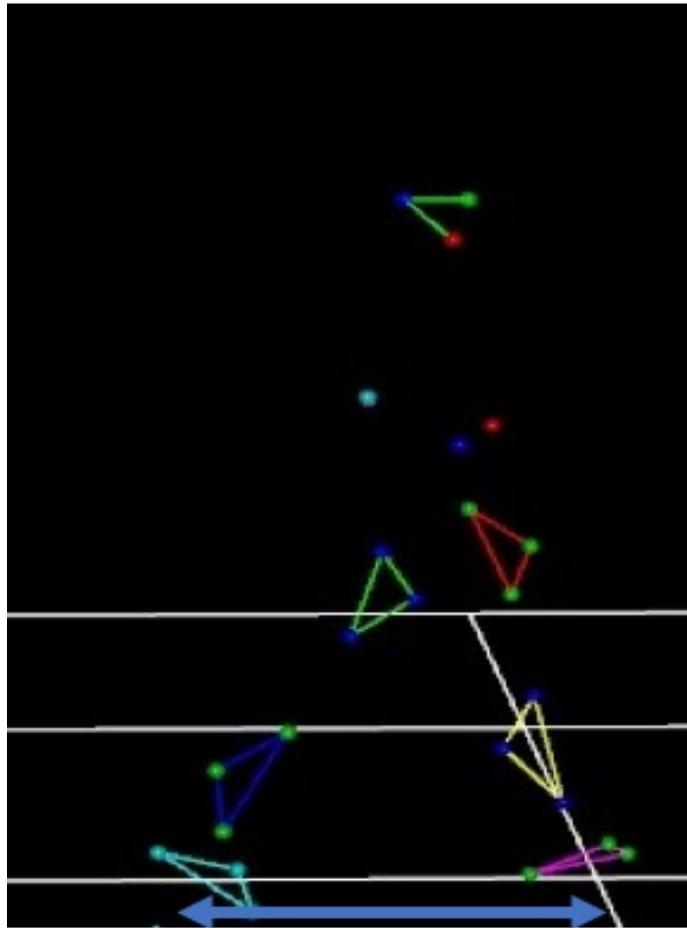


Figura 51. Visualización del programa Kinescan, mostrando la longitud de paso del miembro sano, en este caso, miembro izquierdo.

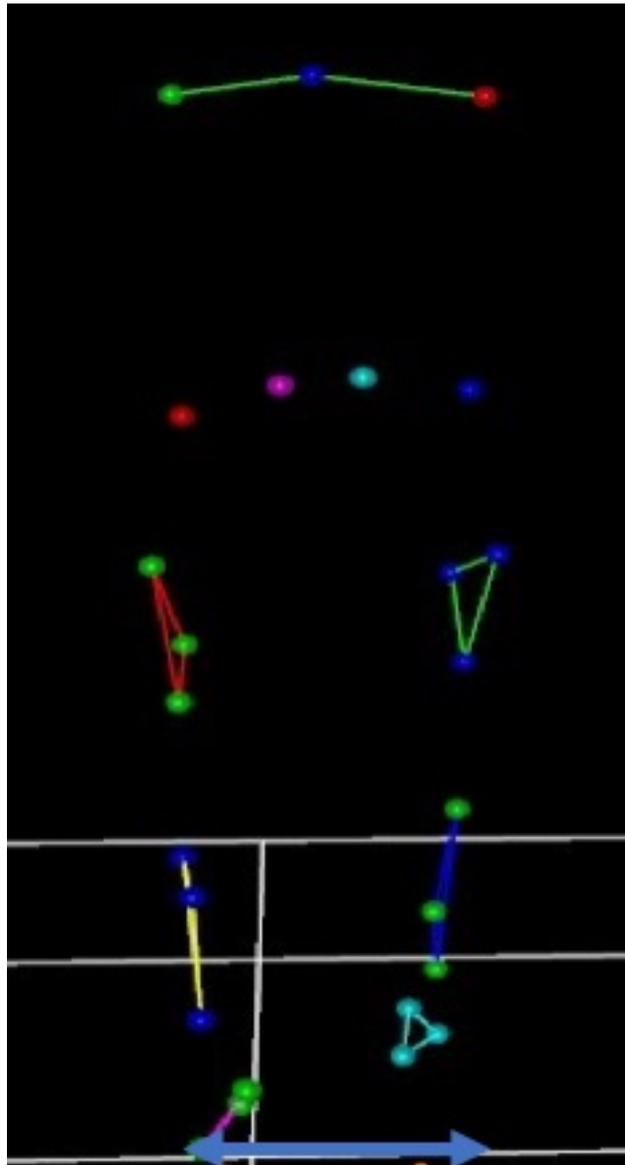


Figura 52. Visualización del programa Kinescan, mostrando el ancho de paso de la marcha.

3.7.4 Normalización

Tal y como Sutherland y Loof et al aconsejaron, es fundamental evaluar la marcha en periodos del desarrollo específicos y cuando la marcha está claramente definida, sobre todo en pacientes mayores de 5 años.^{30,37,53} Existen varios estudios en la literatura que evalúan la marcha en pacientes con pie zambo a los 2 años de edad y durante este periodo la marcha todavía se encuentra en fase de desarrollo.^{28,30,33,34,38,50,51} En este estudio no solo evaluamos la marcha en la preadolescencia (que tiene un patrón de marcha similar a la del adulto) sino que además se decidió eliminar el efecto del tamaño de los pacientes mediante la normalización de los parámetros.

Para la normalización, utilizamos la longitud del miembro inferior del paciente como medida de referencia para eliminar el efecto tamaño. La medición de la longitud del miembro inferior se realizó mediante el programa Kinescan y se calculó la distancia del trocánter mayor al maléolo interno y se anotó en una tabla de Excel.

Las variables que eran dependientes del tamaño del paciente se calcularon de nuevo aplicando las reglas de normalización y fueron anotadas en la base de datos generada con el sistema de análisis estadístico SPSS.

A continuación, presentamos las fórmulas de normalización utilizadas según Sutherland et al.⁵³

Abreviaciones

Variable= var

Variable normalizada= var_n

Longitud del miembro inferior= L

g=9.8 m/s²

- Si longitud (ej. circunferencia de la pantorrilla, longitud zancada, longitud paso, ancho paso etc.):

$$\text{var}_n = \text{var} / L$$

- Si velocidad (ej. velocidad de la marcha, cadencia etc.)

$$\text{var}_n = \text{var} / \sqrt{(g \times L)}$$

- Si tiempo (ej. duración paso etc.)

$$\text{var}_n = \text{var} / \sqrt{(L/g)}$$

3.8 Variables para analizar mediante estudio estadístico

El estudio de las variables se dividió en los siguientes subapartados para analizar de forma completa la evolución clínica y la biomecánica articular de los pacientes patológicos y compararlos frente al grupo control.

Se marca con * las variables que se recalcularon al ser normalizadas.

3.8.1 Análisis demográfico de los grupos a estudio

-Número de pacientes

-Número de pies afectados

-Género

-Edad

-Lateralidad

-Historia familiar

-Antecedente tabáquico

3.8.2 Comparación recidiva de la deformidad entre los grupos patológicos

-Número de pacientes con cirugías adicionales

-Número de pacientes con >2 cirugías

-Número total de pacientes con pie zambo recurrente

-Número y tipo de recidivas menores

-Número y tipo de recidiva mayores

3.8.3 Examen físico

-Rango articular caderas

-Rango articular rodillas

-Rango articular tobillos

*-Longitud pie **

*-Circunferencia pantorrillas**

3.8.4 Cuestionarios

-FADI

-AOFAS

-PODCI con sus 5 sub-apartados y PODCI global

3.8.5 Parámetros radiográficos

3.8.5.1 Deformidad estática:

-ángulo astrágalo-1º metatarsiano AP

-ángulo astrágalo-calcáneo AP y LAT

-Moreau-Costa Bartani

3.8.5.2 Artrosis:

- *subtalar*
- *tibiotalar*
- *talonavicular*
- *calcaneocuboidea*
- *navicular cuneiforme*

3.8.5.3 Astrágalo plano:

-si/no . Si: ratio=0.

3.8.6 Parámetros espaciotemporales

- *Velocidad de la marcha (m/s) **
- *Longitud de zancada (m) **
- *Tiempo de zancada (s) **
- *Longitud de paso (m) **
- *Tiempo de paso (s) **
- *Anchura de paso (m) **
- *Cadencia (pasos/minuto) **
- *Ángulo de progresión del pie*
- *Tiempo apoyo bipodal (s) **
- *Fase de apoyo (% ciclo de la marcha)*
- *Fase de oscilación (% ciclo de la marcha)*
- *Apoyo bipodal (% ciclo de la marcha)*
- *Apoyo unipodal (% ciclo de la marcha)*

3.8.7 Cinemática

3.8.7.1 Descripción de la cinemática de las curvas en el plano coronal, sagital y transversal a nivel de las caderas, rodillas y tobillos.

3.8.7.2 Evaluación visual de la información cinemática

De una forma similar a los otros estudios relacionados con la marcha, la definición de una marcha patológica fue estricta, clasificando como patológico todo valor que estuviera por encima o por debajo de una desviación estándar.^{28,29,30,32,34,38,49,50,51,65,66,72,73}

-Aumento de la dorsiflexión durante el apoyo: paciente cuyo patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante la fase de apoyo del ciclo de la marcha.

-Marcha equina/pie caído: paciente cuyo patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por debajo del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha.

-Ángulo de progresión del pie: el ángulo entre el eje del pie y la línea de progresión en el piso. Normal -5° a 20° . Intoeing mínimo -5° a -10° . Intoeing moderado -10° a -15° . Intoeing severo $>-15^{\circ}$.

-Marcha calcánea: paciente cuyo patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha.

-Eversión forzada: paciente cuyo patrón cinemático en el plano coronal a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por debajo del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha.

-Inversión forzada: paciente cuyo patrón cinemático en el plano coronal a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha.

-Rotación externa de la cadera: paciente cuyo patrón cinemático en el plano transversal a nivel de la cadera estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha.

-Número de pacientes con marcha normal: Un sujeto con una marcha normal se definió como aquel cuya extremidad inferior patológica presentara un patrón cinemático a nivel de la cadera, rodilla y tobillo dentro de

± 1 desviación estándar del patrón normal (media de los controles).

3.8.8 Cinética. Fuerzas de reacción del suelo.

- Fuerza de acción vertical
- Fuerza de acción antero-posterior
- Fuerza de acción medio-lateral

3.9 Tratamiento estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 20.0.0. para MAC.

Las variables cuantitativas se presentan como media y desviación estándar y las variables cualitativas como porcentajes. Se estudió la normalidad de la distribución de cada una de las variables mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors. La asociación de las variables categóricas se analizó mediante la prueba de χ^2 o en el test exacto de Fisher, según correspondiera.

Para comparar las medias de variables cuantitativas continuas con distribución normal se utilizó el test t de Student o el test de ANOVA, según correspondiera el número de grupos analizados. Cuando el test de ANOVA detectó diferencias significativas entre las medias, se aplicó el test de Bonferroni, Scheffe y Tukey para establecer qué grupos presentaban diferencias estadísticamente significativas entre sí.

En caso de no cumplir criterios de normalidad, los valores se expresaron como mediana y rango (percentil 25%-percentil 75%) y se aplicaron test no paramétricos como la U de Mann-Whitney o el test de Kruskal-Wallis, según correspondiera el número de grupos analizados.

Las gráficas cinemáticas fueron analizadas de forma visual individualmente. Las curvas se consideraron patológicas si estaban una desviación estándar por encima o por debajo del

patrón normal (media de los controles). Los pies zambos idiopáticos unilaterales y bilaterales se contabilizaron como un grupo homogéneo mientras que los pies no afectados se excluyeron del análisis. Se consideraron significativos los valores de $p < 0.05$.

RESULTADOS

4.1 Características demográficas y tasa de recidiva

Primero se realizó un análisis de las características basales de los grupos de comparación. No hubo diferencias entre grupos en cuanto a las características demográficas de género, lateralidad del pie afecto, historia familiar de pie zambo y antecedente tabáquico materno (Tabla 1). La edad media de los pacientes en el grupo Ponseti (8 ± 1 años) era ligeramente inferior al grupo de liberación posterior (10 ± 1 años) y control (9 ± 2 años), $p < 0,001$.

Tabla 1. Características demográficas

	Grupo 1 (Liberación posterior)	Grupo 2 (Ponseti)	Grupo 3 (Control)	Valor p
Número de pacientes	31	22	25	
Número de pies	45	34	50	
Varón: mujer	26: 5	14: 8	18: 7	0,238
Edad media (años), DS	10 ± 1	8 ± 1	9 ± 2	< 0,001
Pie	Derecho [n (%)]	7 (23%)	7 (32%)	0,291
	Izquierdo [n (%)]	10 (32%)	3 (14%)	
	Bilateral [n (%)]	14 (45%)	12 (55%)	
Historia familiar positiva [n (%)]	6 (19%)	7 (32%)	1 (4%)	0,428
Madre historia tabáquica [n (%)]	14 (45%)	7 (32%)	3 (12%)	0,615

Tabla 1. Características demográficas de la población de estudio. Los valores se expresan en porcentajes.

El número de cirugías adicionales en los pies patológicos por grupo esta descrito en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de la tasa de recidiva en los grupos patológicos. Número de pies

	Liberación posterior n=45	Ponseti n=34	Valor p
Nº de pies con cirugías adicionales (0:1:2)	34:10:1	23:10:1	0,740
Nº total de pies con recurrencia de la deformidad [(≥1 cirugía adicional, (%))]	11 (24%)	11 (32%)	0,437
Recidiva menor [(nº de pies), (%)]	1 (9%)	7 (64%)	0,024
Transferencia del tibial anterior		6	
Alargamiento en Z del tendón de Aquiles			
Cirugía de partes blandas combinada	1 (transferencia del tibial anterior+ alargamiento tibial posterior)	1 (transferencia del tibial anterior+ fasciotomía plantar)	
Recidiva mayor [nº de pies), (%)]	10 (91%)	4 (36%)	0,024
Liberación posterior adicional	3		
Cirugías combinadas	7 (4 transferencias del tibial anterior + osteotomía del cuboides, 1 osteotomía de rotacional tibia, 2 osteotomías de cuboides+ fasciotomía plantar)	4 (2 transferencias del tibial anterior + osteotomía del cuboides, 2 osteotomías valgizantes del calcáneo +fasciotomía plantar+ alargamiento Aquiles)	

Tabla 2. Comparación de la recidiva en los diferentes grupos de intervención. El análisis se realizó según número de pies afectados.

La tasa de recidiva de la deformidad por pies fue similar en ambos grupos patológicos; un total de 11 pies (24%) en el grupo de liberación posterior fueron intervenidos al menos más de una vez por recidiva de la deformidad mientras que un total del 11 pie (32%) fueron intervenidos por recidiva en el grupo Ponseti, $p=0,437$. Tal y como se expuso previamente, hicimos un análisis según el tipo de recidiva (menor o mayor) como propuso Haft.⁶⁸ En el grupo de liberación posterior, 10 pies o el 91% de las re-intervenciones fueron clasificadas como recidiva mayor mientras que únicamente 4 pies o el 36% de la re-intervenciones del grupo Ponseti se clasificaron como recidiva mayor, $p= 0,024$. Inversamente, únicamente 1 paciente o 9% de las re-intervenciones del grupo de liberación posterior se clasificó como recidiva menor mientras que 7 pies o el 64% de los pacientes re-intervenidos del grupo Ponseti se clasificaron como recidiva menor, $p= 0,024$. Los tipos de cirugías empleadas dentro de la clasificación recidiva menor y mayor se detallan en la Tabla 2.

4.2 Examen físico

En el análisis físico, se compararon los tres grupos (liberación posterior vs control, Ponseti vs control y liberación posterior vs Ponseti). En los grupos patológicos, se tomaron las

medidas del miembro inferior con pie zambo. En el grupo control se tomaron medidas de las dos extremidades inferiores.

En cuanto a la movilidad pasiva de las extremidades inferiores, no hubo diferencias a nivel de la cadera ni la rodilla entre grupos patológicos y el grupo control (Tabla 3). Tampoco hubo diferencias en el rango articular pasivo a nivel de la cadera y rodilla entre los grupos patológicos.

Tabla 3. Examen físico

	Liberación posterior (LP) (n=45)	Ponseti (n=34)	Control (n=50)	Valor p (LP vs control)	Valor p (Ponseti vs control)	Valor p (LP vs. Ponseti)
Flexión cadera (°)	120 (115-120)	115(110-120)	120 (116-120)	0,657	0,334	0,765
Extensión cadera(°)	30 (25-30)	30 (26-30)	30 (26-30)	0,539	0,846	0,615
Rotación externa cadera	50 (40-55)	50 (49-58)	50 (50-55)	0,164	0,949	0,112
Rotación interna cadera	50 (40-60)	60 (47-65)	55 (50-60)	0,105	0,687	0,065
Flexión rodilla (°)	140 (140-145)	140 (140-145)	140 (133-143)	0,157	0,097	0,707
Extensión rodilla (°)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0,157	0,157	0,912
Dorsiflexión del tobillo con la rodilla en extensión (°)	10 (8-12)	8 (7-10)	11 (10-12)	0,029	< 0,001	0,057

Dorsiflexión del tobillo con la rodilla en flexión (°)	15 (10-20)	12 (10-17)	30 (23-30)	< 0,001	< 0,001	0,497
Flexión plantar tobillo con la rodilla en extensión (°)	31.2±8.6	32±7.6	44.1±6.6	< 0,001	< 0,001	0,457
Flexión plantar tobillo con la rodilla en flexión (°)	30 (22-35)	30 (20-35)	40 (33-48)	< 0,001	< 0,001	0,712
Circunferencia pantorrilla (cm)	28.9±3.7	25.8±3.7	29.8±3	< 0,001*	< 0,001*	0,477*
Longitud pie (cm)	22.1±1.8	20.3±2.1	23.2±1.7	< 0,001*	< 0,001*	0,655*
Longitud pierna (cm)	.76±.06	.70±.05	.77±.06	< 0,001	< 0,001	<0,001
Talla (cm)	143±10.05	130±7.46	141±10.59	0,488	< 0,001	< 0,001
Peso	44±10.7	30 ±8.29	36±8.20	0,004	0,032	< 0,001

Tabla 3. Examen físico de todos los pacientes. Los valores se expresan como media± DS, mediana y rango intercuartílico entre paréntesis en caso de no cumplir criterios de normalidad. * Normalización con la longitud de la pierna.

En cambio, sí se encontraron diferencias en el rango articular a nivel del tobillo cuando se compararon los grupos patológicos con el grupo control. El grupo de liberación posterior presentó un menor rango de movilidad tanto en la dorsiflexión como en la flexión plantar del tobillo (con la rodilla en flexión) cuando se comparó con el grupo control, $p < 0,001$. De la misma

manera, el grupo Ponseti demostró un menor rango de movilidad tanto en la dorsiflexión como en la flexión plantar del tobillo (con la rodilla en flexión) cuando se comparó con el grupo control, $p < 0,001$. Cuando se compararon los grupos patológicos entre sí, en la movilidad del tobillo, no se encontraron diferencias significativas.

Los pacientes del grupo Ponseti tenían una menor talla ($p < 0,001$), menor peso ($p < 0,001$) y menor longitud de la pierna ($p < 0,001$) cuando se compararon con el grupo de liberación posterior. Al ser pacientes con menor edad, se eliminó este efecto mediante la normalización de las variables tal y como se expuso previamente. Tras la normalización de las variables directamente relacionadas con la edad, no se observaron diferencias en la circunferencia de la pantorrilla ($p = 0,477$), ni longitud del pie ($p = 0,655$) entre los grupos patológicos. Sí que persistieron las diferencias tras la normalización en la circunferencia de la pantorrilla y longitud del pie siendo ambas menores en los grupos patológicos que en el grupo control, $p < 0,001$.

4.3 Cuestionarios

No se encontraron diferencias en los resultados globales del PODCI ($p = 0,942$), FADI ($p = 0,432$) ni AOFAS ($p = 0,916$) entre los dos grupos de tratamiento (Tabla 4).

**Tabla 4. Cuestionarios en los pacientes con pie zambo.
Liberación posterior vs Ponseti**

	Liberación posterior n=31	Ponseti n=22	Valor p
FADI	100 (95-100)	100 (95-100)	0,432
AOFAS	95 (90-100)	95 (90-100)	0,916
PODCI 1. Miembro superior	100 (100-100)	100 (100-100)	0,189
PODCI 2. Transferencias	100 (95-100)	100 (97-100)	0,139
PODCI 3. Deportes	96 (85-100)	97 (87-100)	0,881
PODCI 4. Dolor	100 (85-100)	100 (89-100)	0,792
PODCI 5. Felicidad	100 (95-100)	100 (95-100)	0,925
PODCI 6. Global	98 (90-100)	99 (92-100)	0,942

Tabla 4. Puntuación de los cuestionarios completados. El PODCI se presenta en subapartados y puntuación global. Los valores se representan con la mediana y rango intercuartílico por no cumplir criterios de normalidad.

No se encontraron diferencias en los diferentes subapartados del PODCI entre los pacientes del grupo Ponseti y el grupo de liberación posterior. La variabilidad en las respuestas evidenciado por el rango intercuartílico en el grupo de Ponseti fue menor en todos los subapartados del PODCI. Se revisaron los cuestionarios del PODCI para valorar que preguntas tenían la mayor variabilidad en las respuestas. Se observó que, en el

subapartado de deportes, las preguntas 18, 19, 22 y 52 eran las preguntas con una respuesta con mayor variabilidad (puntuaciones del 1-4). En el subapartado de felicidad las preguntas 12 y 13 eran las que más variabilidad presentaban (puntuaciones del 1-4). En el subapartado de felicidad la pregunta 75 era la que más variabilidad presentaba (puntuaciones del 1-4).

PODCI_Deportes

Q18: ¿Durante la última semana, como de fácil/difícil: correr distancias cortas? (1-4, fácil-muy difícil).

Q19: ¿Durante la última semana, como de fácil/difícil: ir en bicicleta? (1-4, fácil-muy difícil).

Q22: ¿Durante la última semana, como es de fácil/difícil: andar más de 1km? (1-4, fácil-muy difícil).

Q52: ¿Participar a en deportes de competición con niños de la misma edad? (1-4, fácil-muy difícil).

PODCI_Felicidad

Q12: ¿Durante la última semana, como te sientes: con la ropa/zapatos que puedes llevar? (1-4, muy contento-infeliz)

Q13: ¿Durante la última semana, como te sientes: con la capacidad de hacer lo mismo que tus amigos? (1-4, muy contento-infeliz)

PODCI_Dolor

Q75: ¿Cuanto dolor has tenido durante la última semana? (1-4, nada-mucho)

4.4 Resultados radiológicos

Los resultados radiográficos demostraron la presencia de deformidad residual en los pies de ambos grupos patológicos (Tabla 5). Se perdieron del análisis 7 pies del grupo Ponseti y 4 del grupo liberación posterior porque los pacientes nunca acudieron al control radiográfico citado.

Tabla 5. Resultados radiológicos. Ángulos de los pies patológicos

	Ángulo astrágalo-1º metatarsiano (AP)			Valor p	Ángulo astrágalo-calcáneo (AP)			Valor p	Ángulo astrágalo-calcáneo (LAT)			Valor p	Ángulo de Moreau Costa Bartani externo			Valor p	
	<5º	5-15º	>15º		<15º	15-30º	>30º		<20º	20-45º	>45º		<115º	115-125º	>125º		
Ponseti (n=27)	8 (29%)	12 (44%)	7 (26%)	9 (33%)	18 (67%)	0	10 (37%)	17 (63%)	0	0	8 (30%)	19 (70%)	0	8 (20%)	33 (80%)	0,34	
Liberación posterior (n=41)	9 (22%)	17 (41%)	15 (37%)	14 (34%)	24 (59%)	3 (7%)	28 (68%)	12 (29%)	1 (2%)	0	8 (20%)	33 (80%)	0,02	0	8 (20%)	33 (80%)	0,34

El ángulo astrágalo-1° metatarsiano en la proyección anteroposterior es una medida que refleja el grado de aducción del antepié. En nuestra serie, alrededor del 30% de los pies tanto en el grupo de liberación posterior como en el grupo Ponseti presentaron una deformidad persistente en aducción. Únicamente el 44% de los pies del grupo Ponseti y un 41% de los pies del grupo liberación posterior presentaron una correcta alineación.

El grupo de liberación posterior presentó una mayor proporción de pies con un ángulo astrágalo-calcáneo en la proyección lateral disminuido (68%) frente al grupo Ponseti (37%), indicando una mayor proporción de pies con una deformidad en varo del retropié no corregida en el grupo quirúrgico, $p=0,02$.

Por último, hubo una proporción elevada de pies planos sobre corregidos evidenciado por un ángulo de Moreau Costa Bartani Externo elevado tanto en el grupo de liberación posterior (80%) como en el grupo Ponseti (70%), $p=0,34$.

En cuanto a la artrosis, tanto los pies del grupo Ponseti como del grupo liberación posterior presentaron una baja prevalencia de artrosis a nivel del tobillo y del pie (Tabla 6).

Tabla 6. Número de pies con artrosis

		Liberación posterior n=41	Ponseti n=27	Valor p
subastragalina	0	25 (61%)	22 (82%)	0,288
	1	10 (24%)	3 (11%)	
	2	5 (12%)	2 (7%)	
	3	1 (2%)	0	
	4	0	0	
tibioastragalina	0	26 (63%)	17 (63%)	0,093
	1	11 (27%)	7 (26%)	
	2	3 (7%)	3 (11%)	
	3	1 (2%)	0	
	4	0	0	
astragalonavicular	0	40 (98%)	27 (100%)	0,597
	1	1 (2%)	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
	4	0	0	
calcaneocuboidea	0	41 (100%)	27 (100%)	NA
	1	0	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
	4	0	0	
Astrágalo-cuneiforme	0	39 (95%)	25 (92.6%)	0,460
	1	1 (2.4%)	2 (7.4%)	
	2	1 (2.4%)	0	
	3	0	0	
	4	0	0	
Astrágalo plano	si	21 (51%)	13 (48%)	0,578
	no	20 (49%)	14 (52%)	

A nivel de la articulación subastragalina, el 7% de los pies del grupo Ponseti presentaron mínimos signos de artrosis frente a

un 12% del grupo posterior. Además, un pie (2%) del grupo de liberación posterior presentó signos moderados de artrosis a este nivel. A nivel de la articulación tibioastragalina, un 7% de los pies del grupo de liberación posterior presentaron mínimos signos de artrosis y un 2% signos moderados. No hubo evidencia de artrosis a nivel de las articulaciones astragalonavicular ni calcaneocuboidea en ningún grupo patológico. Únicamente un pie (2%) del grupo de liberación posterior presentaba signos mínimos de artrosis a nivel de la articulación astrágalo-cuneiforme.

En cuanto a la presencia de astrágalo plano, hubo una distribución similar en los dos grupos patológicos. En un 51% de pies del grupo de liberación posterior y en un 48% de pies del grupo Ponseti se evidenció la presencia de astrágalo plano, $p=0,578$.

4.5 Resultados espaciotemporales

Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros espaciotemporales al comparar los grupos patológicos con el grupo control (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros espaciotemporales

	LP (n=45)	P (n=34)	C (n=50)	Valor p LP vs C	Valor p P vs C	Valor p P vs LP	Valor p P vs LP*
Velocidad de la marcha (m/s)	1.22 (1.18-1.32)	1.16 (1.07-1.25)	2.17 (1.36-2.27)	< 0,001	< 0,001	0,004	0,908
Longitud de zancada (m)	1.20±0.08	1.04±0.1	1.25±0.11	0,021	< 0,001	< 0,001	0,346
Tiempo de zancada (s)	0.98 (.92-1.03)	0.90 (0.86-0.96)	0.59 (0.57-0.91)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,487
Longitud de paso (m)	0.60±0.04	0.51±0.06	0.62±0.07	0,047	< 0,001	< 0,001	0,115
Tiempo de paso (s)	0.47 (0.45-0.50)	0.43 (0.40-0.45)	0.30 (0.27-0.42)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,063
Anchura de paso (m)	0.11 (0.08-0.13)	0.09 (0.08-0.11)	0.08 (0.05-0.08)	< 0,001	< 0,001	0,042	0,758
Cadencia (pasos/minuto)	123 (117-131)	133 (125-141)	204 (133-213)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<0,001
Tiempo apoyo bipodal (s)	0.56 (0.52-0.60)	0.50 (0.48-0.54)	0.32 (0.29-0.49)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002
Fase de apoyo (% ciclo de la marcha)	57.6±1.9	56.3±2.3	53.4±2.3	< 0,001	< 0,001	0,012	0,012
Fase de oscilación (% ciclo de la marcha)	42.4±1.9	43.8±2.3	46.6±2.3	< 0,001	< 0,001	0,008	0,008
Ángulo de progresión del pie	-5.9±8.6	-7.1±9.2	0.4±8.4	0,042	0,025	0,646	0,646

Ángulo de progresión del pie (<math>< 10^\circ</math>)	12 (27%)	8(23%)	-	-	-	0,024	0,024
Apoyo bipodal (% ciclo de la marcha)	24.5±2.7	22.3±2.7	20.8±3.1	< 0,001	< 0,001	0,587	0,587
Apoyo unipodal (% ciclo de la marcha)	33.1±1.8	32.4±2.2	32.6±2.6	0,035	0,041	< 0,001	< 0,001

Tabla 7. Los valores se expresan como media± DS, mediana y rango intercuartílico en caso de no cumplir criterios de normalidad. Abreviaciones: C, control; LP, liberación posterior; P, Ponseti; * Normalización con la longitud de la pierna.

El análisis demostró que tanto el grupo Ponseti como el grupo de liberación posterior presentaron una marcha más lenta que el grupo control; los pacientes en el grupo de liberación posterior andaban con una velocidad de 1.22 (1.18-1.32) m/s, los pacientes con método de Ponseti con una velocidad de 1.16 (1.07-1.25) m/s mientras que el grupo control andaban con una velocidad de 2.17 (1.36-2.27) m/s, $p < 0,001$.

Previa a la normalización de las variables, el grupo de liberación posterior presentaba de manera significativa una mayor longitud de la zancada (1.20m), un mayor tiempo de zancada (0.98s), una mayor longitud de paso (0.60m), un mayor tiempo de paso (0.47s), una mayor anchura de paso (0.11m) y menor cadencia (123 pasos/minuto) cuando se comparó con el

grupo Ponseti. Dado que estas variables estaban relacionadas con la edad, se eliminó dicho efecto con la normalización, y se observó que únicamente se encontraron diferencias significativas en la cadencia. En este parámetro, el grupo Ponseti presentaba una mayor cadencia (133 pasos/ minuto), indicando que tenían una marcha más ligera que el grupo de liberación posterior (123 pasos/ minuto) y que se aproximaban más a la cadencia del grupo control (204 pasos/minuto), $p < 0,001$.

En cuanto al tiempo de apoyo bipodal, y tras la normalización, se observó que el grupo de liberación posterior tenía un mayor tiempo de apoyo bipodal (.56 segundos) frente al grupo Ponseti (.50 segundos), $p = 0,002$.

El grupo de Ponseti presentó diferencias significativas en la distribución (%) del ciclo de la marcha cuando se comparó con el grupo de liberación posterior. El 56.3% del tiempo los pies se encontraron en la fase de apoyo y el 43.8% en la fase de oscilación, que son valores más próximos a la distribución (%) del ciclo de la marcha del grupo control de 53.4% en fase de apoyo y 46.6% en fase de oscilación.

En cuanto a la proporción (%) de los tiempos de apoyo unipodal y bipodal, no hubo diferencias entre los grupos patológicos en la proporción de apoyo bipodal, $p = 0,587$. En cambio, el grupo Ponseti obtuvo un porcentaje de apoyo unipodal (32.4%) diferente al grupo quirúrgico (33.1%) que fue significativo y se aproximó más a la proporción de apoyo unipodal del grupo control (32.6%), $p < 0.001$.

Los grupos patológicos presentaron de media un intoeing de grado mínimo que fue significativo cuando se comparó con el grupo control. El grupo de liberación posterior presentó un ángulo de progresión del pie medio de -5.9° frente a -7.1° en el grupo de Ponseti, $p=0,646$. Se hizo un análisis para valorar la proporción de pies con un intoeing moderado o severo entre los grupos patológicos. El grupo de liberación posterior presentaba una mayor proporción de intoeing moderado o severo (27%) frente al grupo Ponseti (23%), $p=0,024$.

4.6 Resultados cinemáticos y cinéticos

Posteriormente se realizó un análisis cinemático y cinético a nivel de la cadera, rodilla y tobillos entre los grupos patológicos y el grupo control. Para su adecuada interpretación se desarrolló un análisis individual de las curvas cinemáticas, un análisis de la media por grupo de las curvas cinemáticas y un análisis de la media por grupo de las curvas cinéticas.

4.6.1 Análisis individual de las curvas cinemáticas

Se evaluaron todas las curvas cinemáticas por pie de cada paciente patológico y se contabilizó el patrón de la marcha en la

Tabla 8. Se perdieron 7 pies del grupo de liberación posterior y 1 pie del grupo Ponseti por problemas informáticos con el programa.

Tabla 8. Evaluación visual de la información cinemática.
Número de pies (%)

	Liberación posterior (n=38)	Ponseti (n=33)	Valor p
Aumento de la dorsiflexión durante el apoyo	13 (34%)	6 (18%)	0,146
Marcha equina/pie caído	0	0	
Marcha calcánea	11(29%)	4 (12%)	0,094
Eversión forzada	13 (34%)	7 (21%)	0,434
Inversión forzada	1 (3%)	1 (3%)	0,234
Rotación externa de la cadera	4 (11%)	2 (6%)	0,420
Número de pacientes con marcha normal	4 (11%)	11 (33%)	0,016

Tal y como se describió previamente, se clasificó como aumento de la dorsiflexión durante el apoyo cuando el patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante la fase de apoyo del ciclo de la marcha (Figura 53).

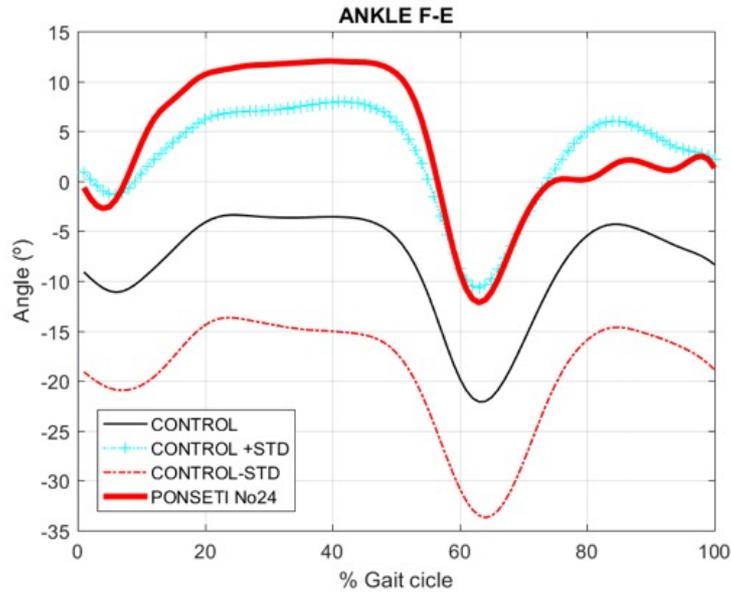


Figura 53. Ejemplo del pie número 24 (línea roja continua) del grupo Ponseti. Durante la fase de apoyo el paciente presentó un patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo por encima de una desviación estándar de la media de los controles (línea negra continua).

Un total de 12 pies o 34% de la muestra del grupo de liberación posterior frente a 6 pies o 18% de la muestra del grupo Ponseti presentaron este patrón patológico de la marcha, siendo esta diferencia no estadísticamente significativa $p=0,146$.

En cuanto a la marcha equina o pie caída, no hubo ningún caso según los patrones de la marcha definidos en ninguno de los grupos patológicos.

Por otro lado, se definió como marcha calcánea aquel paciente cuyo patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha (Figura 54).

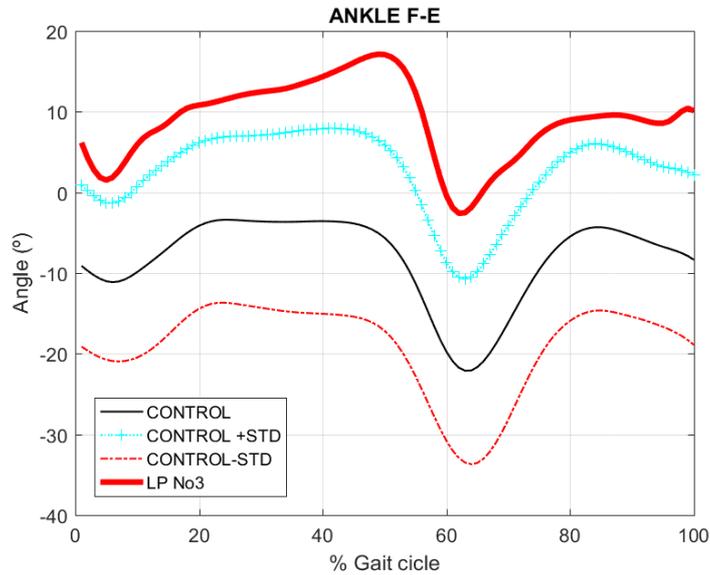


Figura 54. Ejemplo del pie número 3 (línea roja continua) del grupo Liberación posterior. El paciente presentó un patrón cinemático en el plano sagital a nivel del tobillo por encima de una desviación estándar de la media de los controles (línea negra continua) durante todo el ciclo de la marcha.

Una vez más, hubo una mayor proporción de pacientes con una marcha alterada en el grupo de liberación posterior. Un total de 11 pies o el 29% de la muestra de liberación posterior

frente a 4 pies o el 12% de la muestra de Ponseti presentaron una marcha calcánea, $p=0,094$.

Se estableció como eversión forzada cuando el patrón cinemático en el plano coronal a nivel del tobillo estuviera 1 desviación estándar por debajo del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha.

En nuestra serie, un total de 13 pies (34%) del grupo de liberación posterior presentaron un patrón cinemático a nivel del tobillo característico de eversión forzada frente a 7 pies (21%) del grupo Ponseti, $p=0,434$.

Se etiquetó de inversión forzada aquel patrón cinemático en el plano coronal a nivel del tobillo que estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha. Un pie en el grupo de liberación posterior y un pie en el grupo de Ponseti presentaron un patrón cinemático a nivel del tobillo de inversión forzada, $p=0,234$.

Se definió como rotación externa patológica como aquel patrón cinemático en el plano transversal a nivel de la cadera que estuviera 1 desviación estándar por encima del patrón normal (media de los controles) durante todo el ciclo de la marcha (Figura 55).

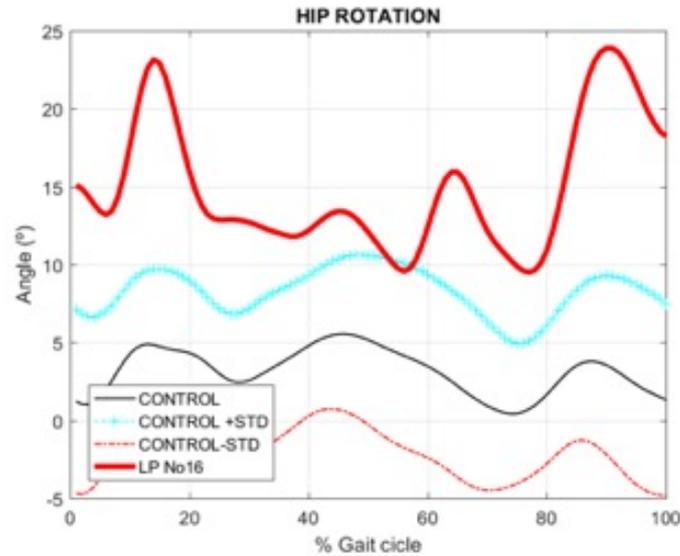


Figura 55. Ejemplo del pie número 16 (línea roja continua) del grupo Ponseti. El patrón cinemático en el plano transversal a nivel de la cadera era característico de rotación externa excesiva dado que estaba 1 desviación estándar por encima de la media de los controles (línea negra continua).

Un total de 4 pies o el 11% de la muestra de liberación posterior frente a 2 pies o el 6% de la muestra de Ponseti mostraron una rotación externa excesiva según la definición siendo esta diferencia no estadísticamente significativa, $p=0,420$.

4.6.2 Análisis de la media por grupo de las curvas cinemáticas

4.6.2.1 Cadera

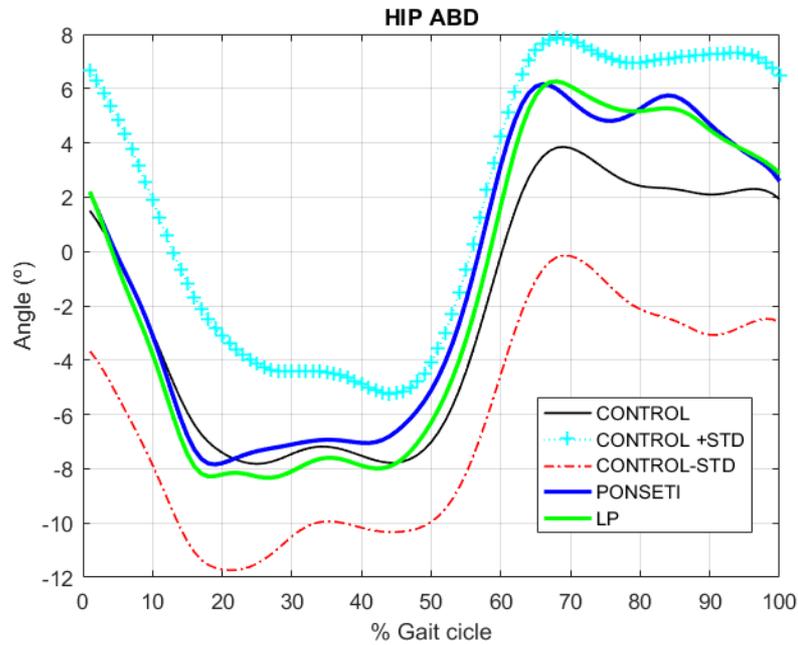


Figura 56. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano coronal a nivel de la cadera.

En la Figura 56, se puede apreciar que la media tanto del grupo Ponseti como de liberación posterior estaban dentro de ± 1 DS. En los grupos patológicos se observó que en la etapa de contacto inicial la cadera se encontraba en posición neutra (en

relación con la abducción y aducción). Posteriormente había un movimiento hacia la aducción logrando el máximo durante la etapa de apoyo medio y después se generaba un movimiento de abducción máxima (con una tendencia hacia la parte superior de la curva +1 DS) hasta el momento de despegue de los dedos. Durante la fase de oscilación se desplazaba desde abducción hacia aducción para preparar la etapa de contacto inicial.

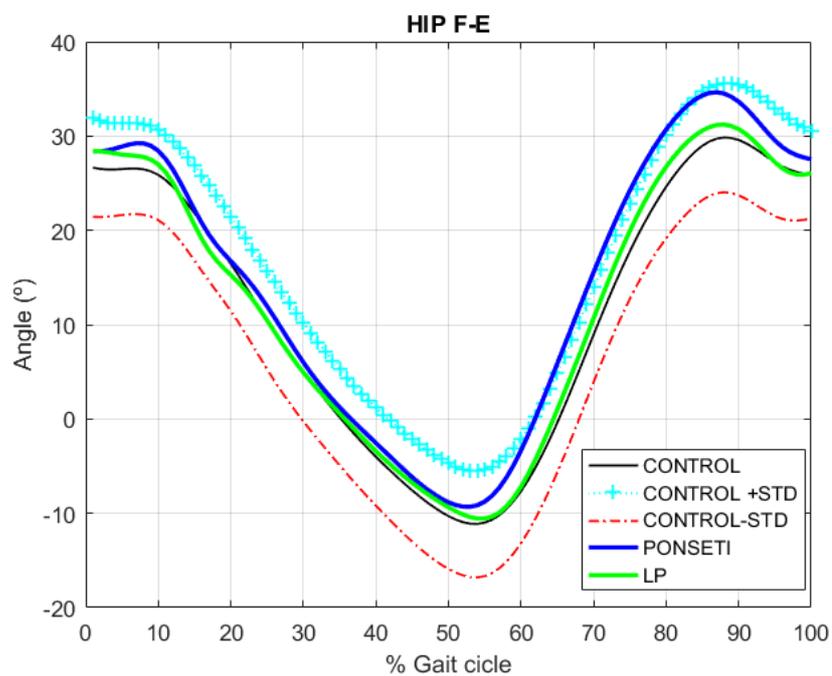


Figura 57. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles \pm 1 DS en el plano sagital a nivel de la cadera.

En la figura 57 podemos observar que los grupos patológicos permanecían dentro de $\pm 1DS$ de la media de los controles en cuanto a la cinemática de la cadera en el plano sagital. En la figura, se aprecia la transición de flexión a extensión máxima coincidiendo con la etapa de apoyo terminal. Posteriormente hay una transición hacia la flexión logrando su máximo en el balanceo terminal durante la fase de oscilación.

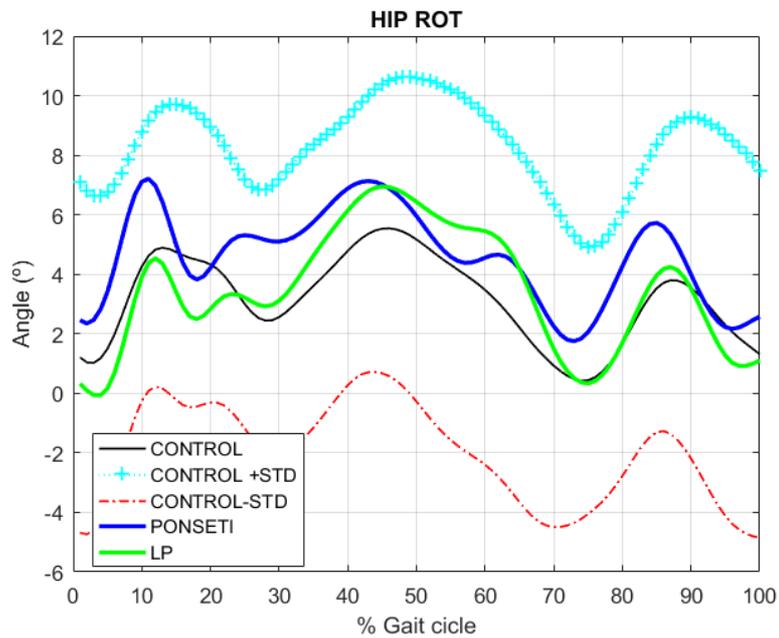


Figura 58. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles $\pm 1 DS$ en el plano transversal a nivel de la cadera.

En la figura 58 se evidencia que los grupos patológicos estaban dentro de $\pm 1DS$ de la media de los controles en cuanto a la cinemática de la cadera en el plano transversal. Se observó que la media de los grupos patológicos tenía una tendencia a permanecer una mayor proporción del ciclo de la marcha en rotación externa. Es importante observar que existía una gran variabilidad en las curvas que reflejaban los movimientos de rotación externa a neutro que se generaban varias veces durante un ciclo normal. En resumen, en el contacto con el talón, la cadera realizaba un movimiento de rotación externa y luego realizaba un movimiento contrario para volver a la posición neutra. Cuando el talón despegaba del suelo, la cadera volvía a rotar externamente hasta alcanzar el máximo en la etapa de balanceo inicial. Posteriormente durante la etapa de balanceo medio se realizaba un movimiento de rotación interna acercándose a la posición neutra y finalmente en la etapa de balanceo terminal se volvía a realizar una rotación externa.

4.6.2.2 Rodilla

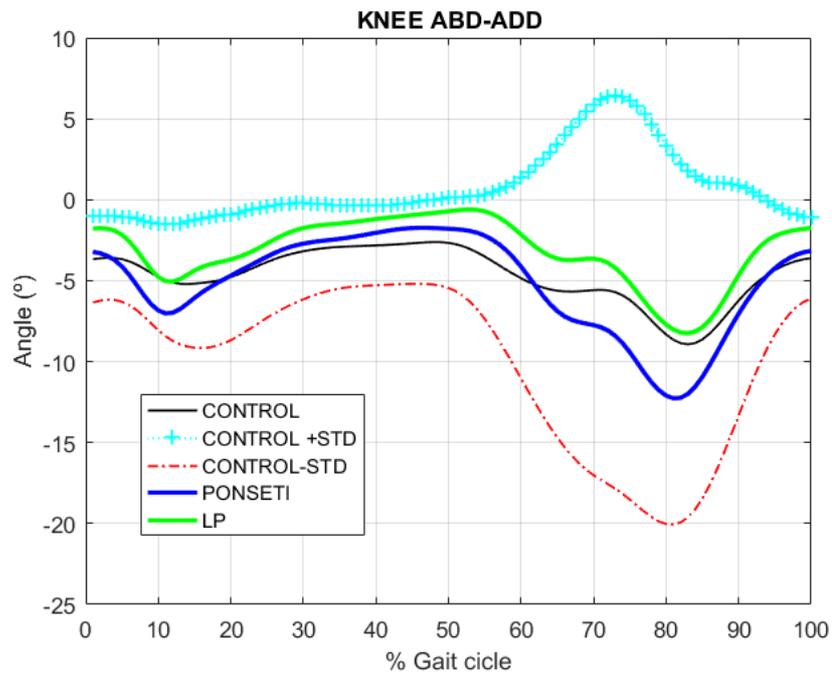


Figura 59. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles \pm 1 DS en el plano coronal a nivel de la rodilla.

Podemos observar en la figura 59 que la media de las curvas individuales cinemáticas en el plano coronal a nivel de la rodilla estaba dentro de \pm 1 desviación estándar. No hubo ninguna desviación patológica hacia el varo (+1 DS) o valgo (-1 DS).

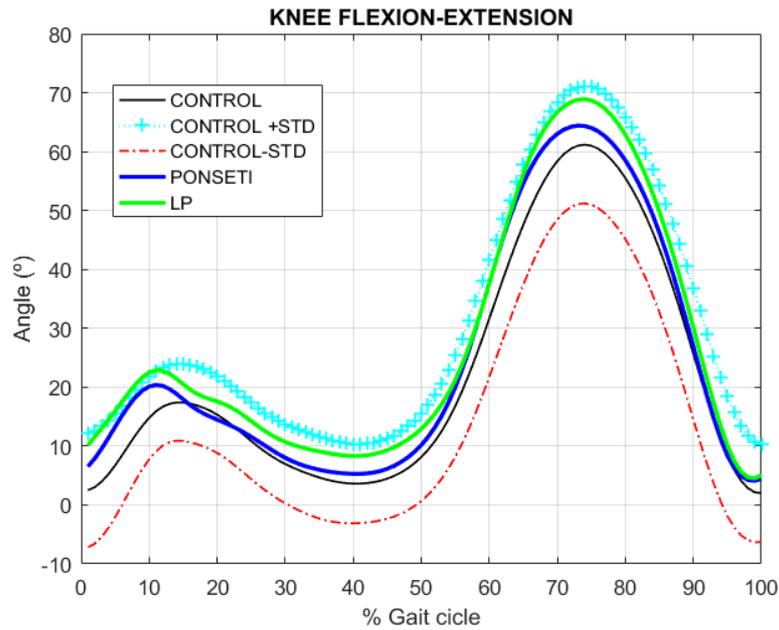


Figura 60. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano sagital a nivel de la rodilla.

En la figura 60 observamos que los grupos patológicos tenían una cinemática en el plano sagital a nivel de la rodilla dentro de ± 1 DS de la media del grupo control. El grupo de liberación posterior presentó una tendencia hacia mayor flexión de rodilla durante todo el ciclo de la marcha al estar en la parte superior de la curva +1 DS.

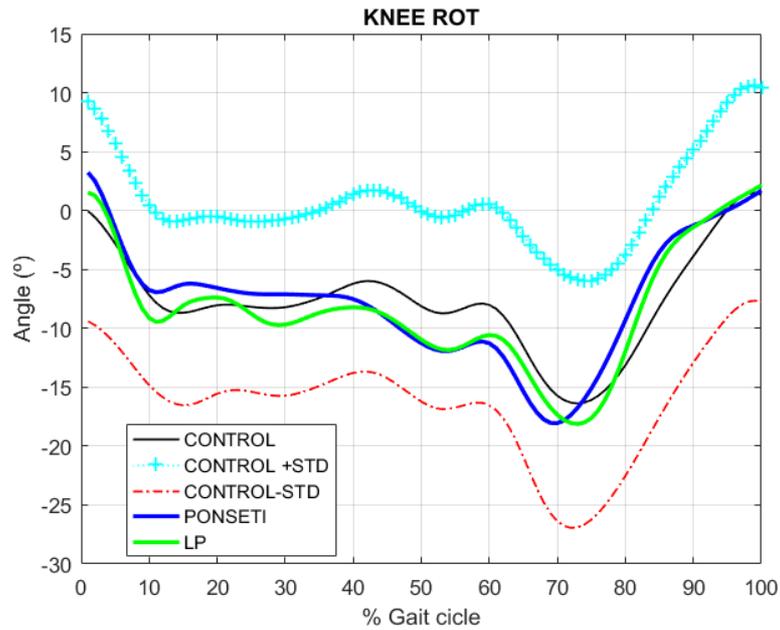


Figura 61. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles ± 1 DS en el plano transversal a nivel de la rodilla.

En la figura 61 podemos observar que los grupos patológicos presentaron una cinemática en el plano coronal a nivel de la rodilla dentro de ± 1 DS de la media del grupo control. No hubo ninguna desviación patológica hacia una rotación interna excesiva (+1 DS) o rotación externa excesiva (-1 DS).

4.6.2.3 Tobillo

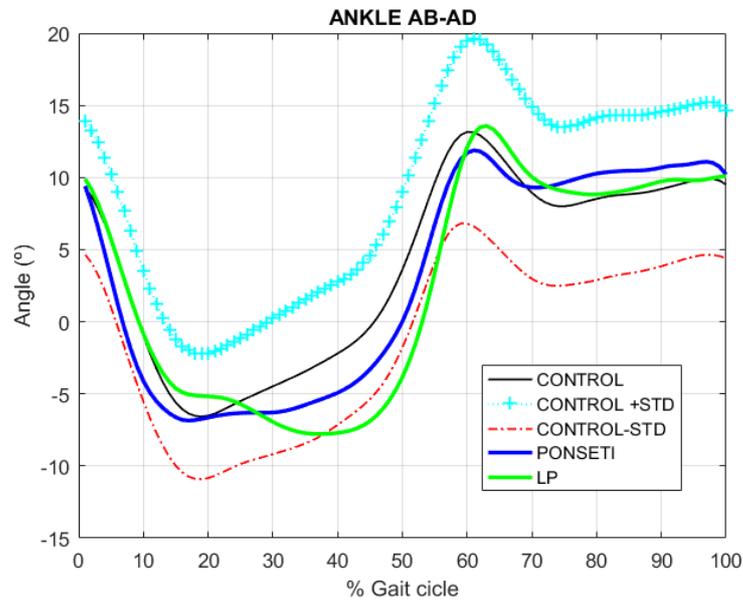


Figura 62. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles \pm 1 DS en el plano coronal a nivel del tobillo.

En la figura 62, se observa que el grupo Ponseti presentó una cinemática en el plano coronal a nivel del tobillo dentro de \pm 1 DS de la media del grupo control. No hubo ninguna desviación patológica hacia una eversión excesiva (+1 DS) o inversión excesiva (-1 DS). En cambio, el grupo de liberación posterior mostró una diferencia significativa (+1 DS) durante la fase previa al despegue. Más específicamente, se aprecia como los pacientes tratados con la técnica de liberación posterior presentan un

movimiento de eversión mantenida con un pico en el momento previo al despegue de -8 grados. Posteriormente, en el despegue, el tobillo realiza un movimiento de inversión alcanzando un máximo de 14° que descende progresivamente durante la fase de balanceo.

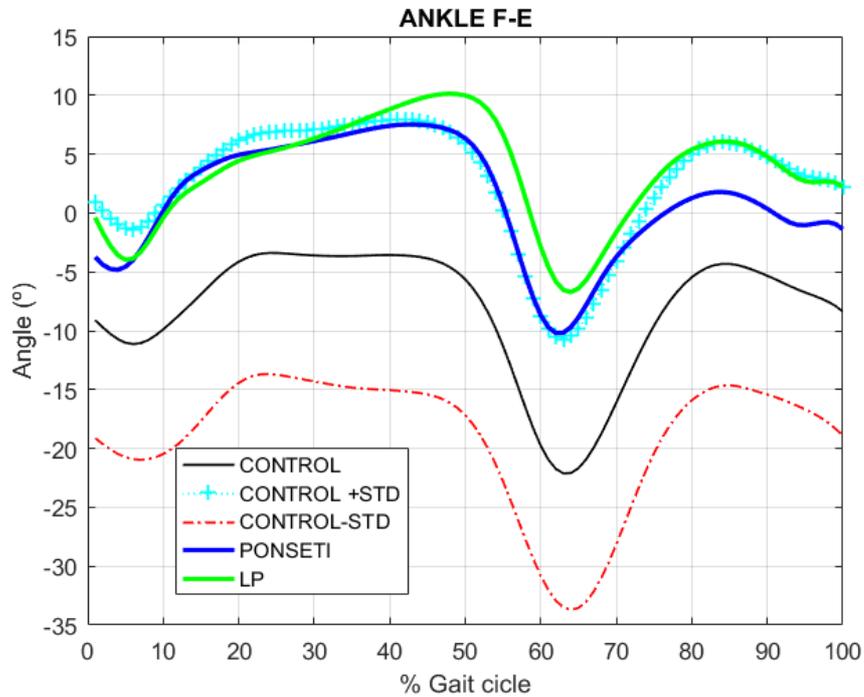


Figura 63. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles \pm 1 DS en el plano sagital a nivel del tobillo.

En la figura 63 se aprecia que la media de las curvas individuales de los grupos patológicos estaba en la parte superior del límite +1 DS de la media de los controles. El grupo de

liberación posterior fue el grupo que se desvió de +1DS sobretodo en la fase previa al despegue. Esta flexión dorsal mantenida durante todo el ciclo de la marcha corresponde a una marcha calcánea.

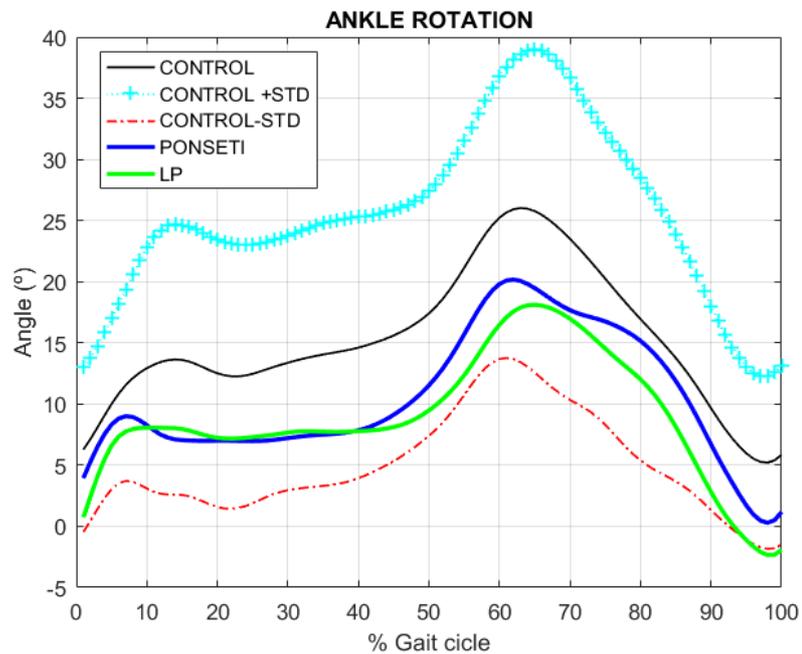


Figura 64. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los grupos patológicos y controles \pm 1 DS en el plano transversal del tobillo.

En la figura 14, la media de los grupos patológicos estaba dentro de \pm 1 DS de la media del grupo control. De todas formas, la tendencia al intoeing fue más evidente en el grupo de liberación posterior donde los pies permanecieron durante la mayor parte del ciclo en la parte inferior de la curva (-1 DS).

4.6.3 Análisis de la media por grupo de las curvas cinéticas

4.6.3.1 Fuerzas de reacción del suelo

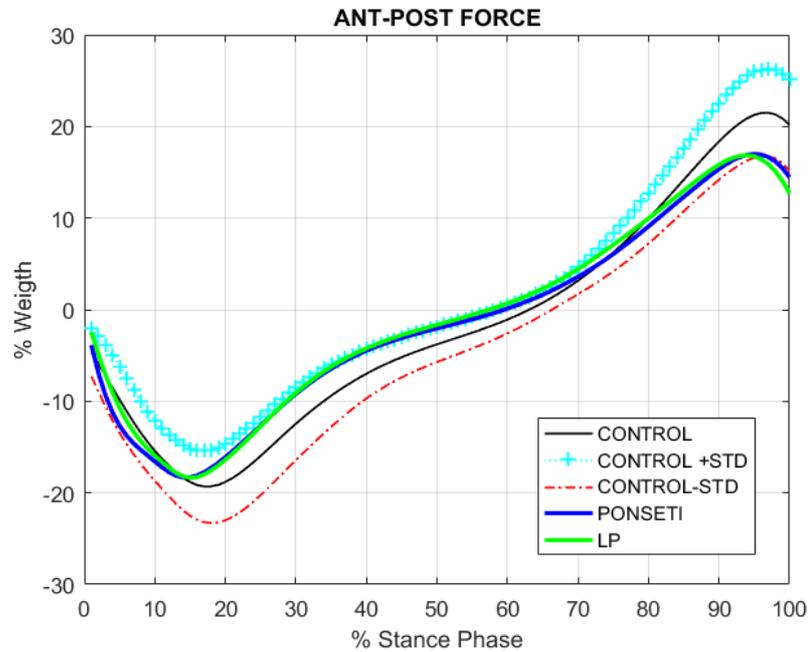


Figura 65. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje anteroposterior de los grupos patológicos y control ± 1 DS. Estas fuerzas, al ser de reacción, va en sentido contrario a la ejercida por el sujeto sobre la plataforma de la fuerza.

En la figura 65, podemos observar que la media de los grupos patológicos estaba dentro del intervalo ± 1 DS de la media

de los controles. Si nos fijamos en los picos de las curvas, se aprecia una tendencia en la cual los grupos patológicos presentaron un aumento de la fuerza antero-posterior en el apoyo del talón y un descenso en la fuerza antero-posterior en la fase final del balanceo.

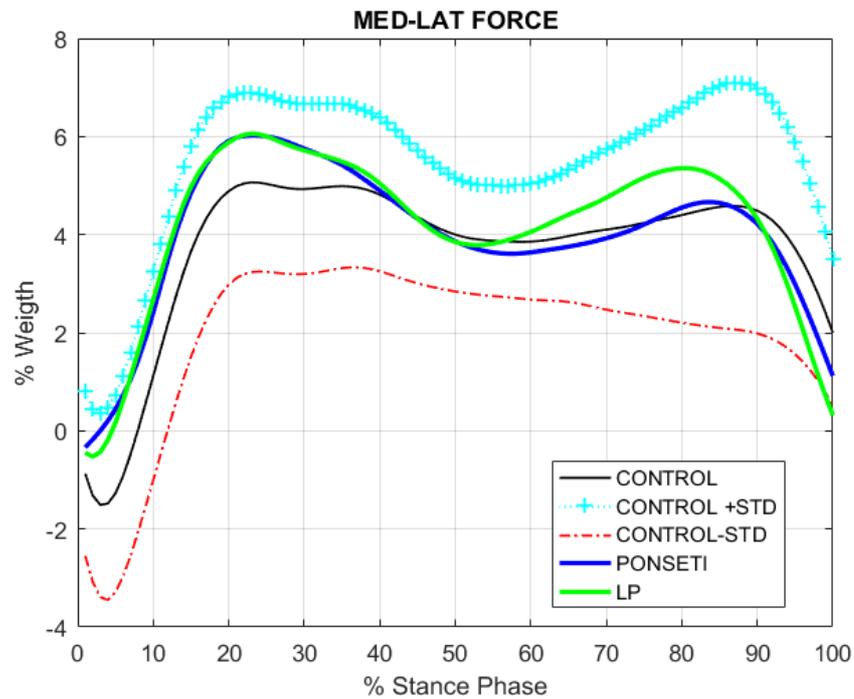


Figura 66. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje medial-lateral de los grupos patológicos y control ± 1 DS. Estas fuerzas, al ser de reacción, va en sentido contrario a la ejercida por el sujeto sobre la plataforma de la fuerza.

Tal y como se aprecia en la figura 66, la media de los grupos patológicos se encontraba dentro de ± 1 DS de la media del grupo control. De todas formas, las curvas de los grupos patológicos se caracterizaron por una tendencia a una mayor fuerza de apoyo en el eje mediolateral. Posteriormente observamos que el grupo de Ponseti presentó una normalización en la fuerza en el eje mediolateral en el despegue asemejándose al patrón cinético de la media de los controles en la fase final del ciclo de la marcha.

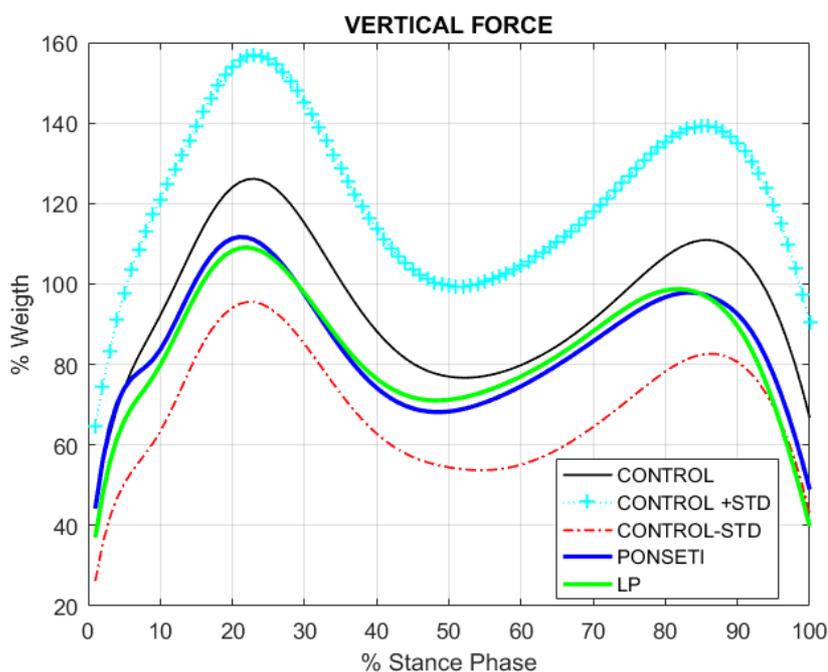


Figura 67. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje vertical de los grupos patológicos y control ± 1 DS. Estas fuerzas, al ser de reacción, va en sentido contrario a la ejercida por el sujeto sobre la plataforma de la fuerza.

En la figura 67, la media de los grupos patológicos estaba dentro de ± 1 DS de la media del grupo control. A pesar de ello, las curvas de los grupos patológicos se caracterizaron por una tendencia a una menor fuerza de impacto, fuerza vertical en el apoyo, fuerza vertical en el valle y fuerza vertical en el despegue. Además, los grupos patológicos presentaron un acortamiento en el tiempo hasta la producción de la fuerza de despegue.

4.6.3.2 Momento a nivel del tobillo

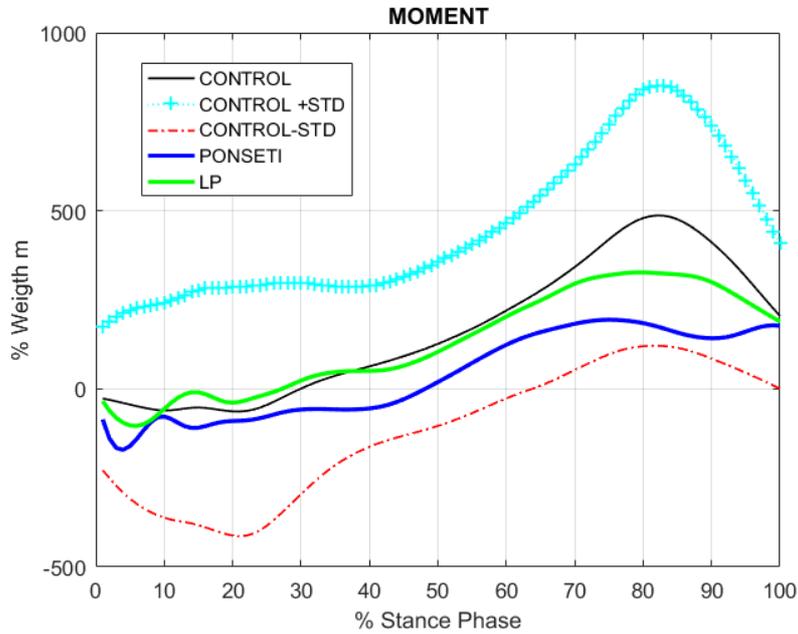


Figura 68. Curva de momento flexor/extensor del tobillo en el plano sagital.

En la figura 68, se puede observar que la media de los grupos patológicos estaba dentro de ± 1 desviación estándar del patrón normal (media de los controles). Se puede apreciar que en los grupos patológicos predominaba una tendencia hacia la dorsiflexión del tobillo durante todo el ciclo de la marcha pero que se encontraba de forma más acentuada en las fases finales del ciclo de la marcha (apoyo y despegue).

4.6.4 Marcha normal

Un sujeto con una marcha normal se definió como aquel cuya extremidad inferior patológica presentara un patrón cinemático a nivel de la cadera, rodilla y tobillo dentro de ± 1 desviación estándar del patrón normal (media de los controles). Con esta definición, 4 pacientes (11%) del grupo de liberación posterior frente a 11 pacientes (33%) del grupo Ponseti presentaron una marcha normal, $p=0,016$.

4.6.5 Astrágalo plano. Cinemática y cinética

Partiendo de la hipótesis que el astrágalo plano es idiopático dado los resultados radiográficos de distribución homogénea entre grupos, se hizo un análisis cinemático y cinético de los pacientes comparando los pacientes con y sin astrágalo plano para saber el efecto de la deformidad independientemente del tratamiento. Analizamos las principales curvas de cinemática y cinética representativas del ciclo de la marcha del apartado anterior (sagital y coronal del tobillo, fuerza antero-posterior y momento flexor/extensor).

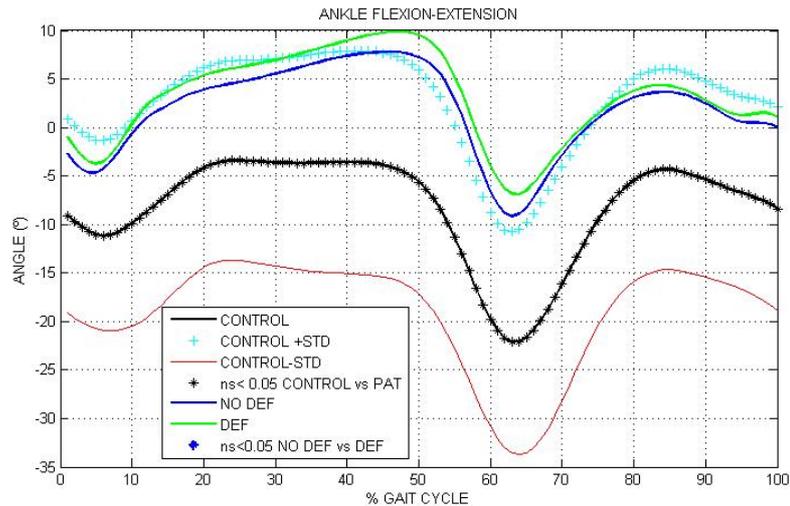


Figura 69. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los pacientes con astrágalo plano (DEF, línea verde) y ausencia de astrágalo plano (NO DEF, línea azul) y controles ± 1 DS en el plano sagital a nivel del tobillo.

Se aprecia en la figura 69 que la media de las curvas individuales tanto en el grupo con deformidad del astrágalo como del grupo sin deformidad del astrágalo estaba en la parte superior del límite +1 DS de la media de los controles. El grupo con deformidad del astrágalo fue el grupo que más se desvió de la media de los controles (sobretudo en la fase previa al despegue) con una tendencia a la dorsiflexión del tobillo durante todo el ciclo de la marcha correspondiendo a una marcha calcánea.

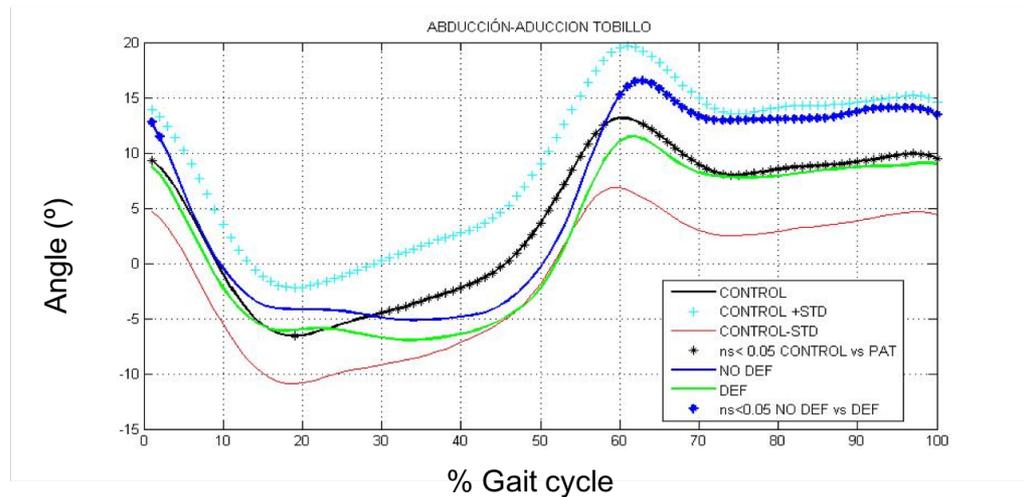


Figura 70. Media de todas las curvas individuales cinemáticas de los pacientes patológicos con y sin deformidad del astrágalo y controles ± 1 DS en el plano coronal del tobillo.

En la figura 70 se observa que la media de los pacientes con y sin deformidad del astrágalo estaba dentro de ± 1 DS de la media del grupo control. De todas formas, la tendencia a la eversión forzada fue más evidente en los pacientes con deformidad del astrágalo donde los pies permanecieron durante la mayor parte del ciclo en la parte inferior de la curva sobretodo en el momento previo al despegue (+1 DS).

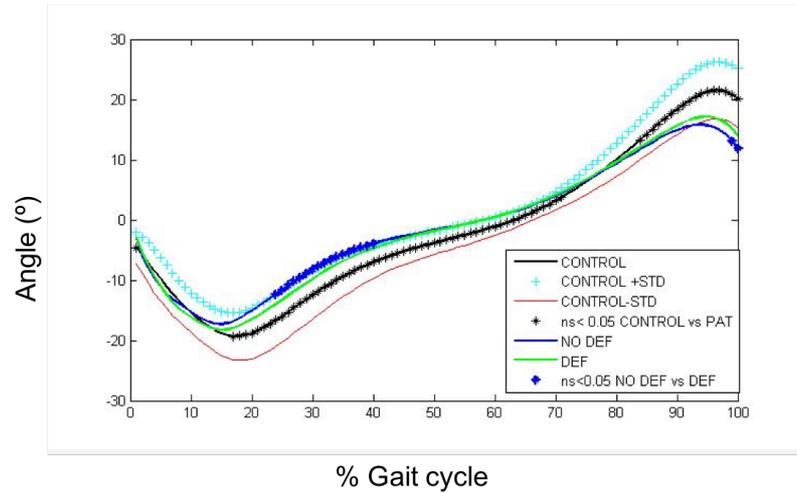


Figura 71. Media de todas las curvas de fuerza de reacción del suelo en el eje anteroposterior de los pacientes con y sin deformidad del astrágalo y control ± 1 DS. Estas fuerzas, al ser de reacción, va en sentido contrario a la ejercida por el sujeto sobre la plataforma de la fuerza.

En la figura 71, podemos observar que la media de los pacientes con y sin deformidad del astrágalo estaba dentro del intervalo ± 1 DS de la media de los controles. No se observaron tendencias en las curvas de mayor o menor fuerza de apoyo o despegue en el talón entre los pacientes con o sin deformidad del astrágalo.

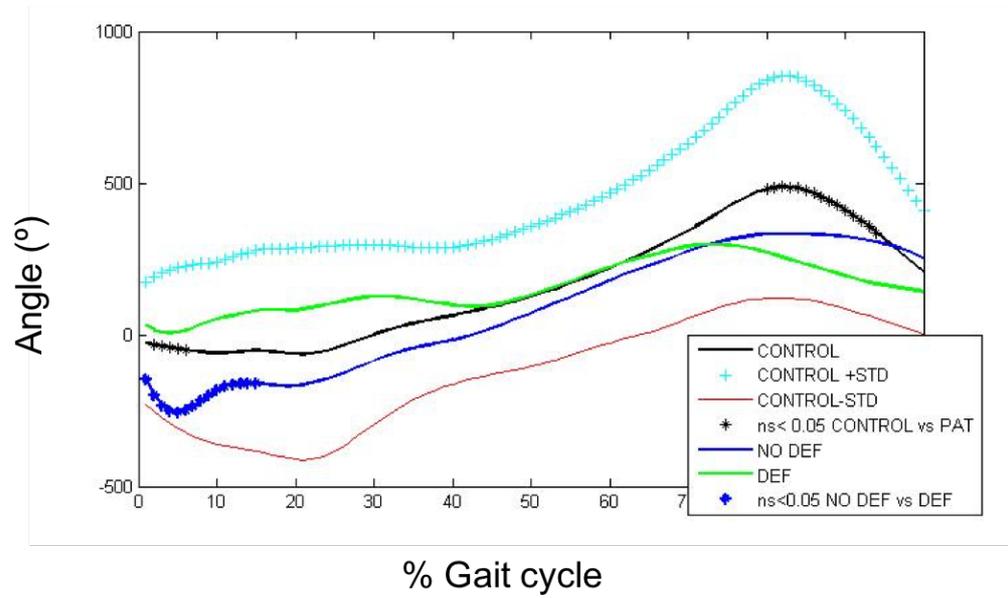


Figura 72. Curva de momento flexor/extensor del tobillo en el plano sagital.

En la figura 72, se puede observar que la media de los pacientes con o sin deformidad del astrágalo estaba dentro de ± 1 desviación estándar del patrón normal (media de los controles).

DISCUSIÓN

El pie zambo, es una de las malformaciones congénitas más frecuentes en traumatología infantil con una incidencia de 1 por cada 1000 nacidos vivos, pudiendo afectar a uno o ambos pies³. El diagnóstico y tratamiento precoz son fundamentales para corregir la deformidad y actualmente el método de Ponseti se ha convertido en el tratamiento estándar debido a la mejor corrección anatómica y menor agresión quirúrgica.

De todas formas, el tratamiento quirúrgico del pie zambo como tratamiento índice ha tenido un papel importante a nivel mundial durante gran parte del siglo XX hasta que fue reemplazado progresivamente por el método Ponseti a finales de los años 1990.^{18,74} Este hecho cronológico pone de manifiesto que existe en la actualidad una parte importante de la población que ha recibido un tratamiento diferente al tratamiento estándar. Además, el hecho de que han existido técnicas quirúrgicas diferentes (unas más agresivas que otras), puede indicar que posiblemente no todos los pacientes quirúrgicos tengan las mismas características funcionales. Es más, no existe ningún estudio que compare de forma aislada la técnica de liberación posterior con el método Ponseti en un grupo de edad determinado.

Por todo ello, este estudio trata de analizar la necesidad de evaluar los pacientes con pie zambo que fueron tratados en un centro con una técnica de menor agresión quirúrgica como es la liberación posterior y compararla con los pacientes tratados con el método de Ponseti.

Concretamente, en este estudio, hemos objetivado las diferencias a nivel del examen físico, estudio radiográfico, cuestionarios, parámetros espacio-temporales, cinemática y cinética de la marcha en pacientes tratados mediante la técnica quirúrgica de liberación posterior frente al método de Ponseti comparándolos con un grupo control.

Un aspecto importante de este estudio fue que identificamos variables que eran dependientes de la talla y realizamos un análisis con las variables normalizadas. Este hecho es imprescindible a la hora de evaluar determinadas mediciones de la exploración física y determinados parámetros espacio-temporales.⁵³ Por ejemplo, si no hubiéramos normalizado parámetros tales como la circunferencia de la pantorrilla, podría haberse dado el caso que los pacientes más mayores (en nuestro caso el grupo de liberación posterior) hubieran presentado un mayor tamaño de pantorrilla simplemente porque eran más grandes. Paralelamente, los pacientes del grupo Ponseti hubieran obtenido una menor medición de la circunferencia de la pantorrilla por ser más jóvenes. La normalización evitó este sesgo al comparar mediciones de manera adimensional. Otro ejemplo es que los pacientes con una mayor talla tienen una mayor zancada y por lo tanto una mayor velocidad bajo condiciones similares. Para evitar dicho sesgo entre los grupos respectivos, se realizaron las conversiones de las variables relacionadas con el tamaño teniendo en cuenta la longitud de la pierna para otorgarles un valor adimensional independientemente de la talla.

Tal como es importante normalizar variables para una adecuada comparación entre grupos, es igual de primordial evaluar una población en un periodo del desarrollo específico. En nuestro estudio, la población de estudio fueron pacientes en la edad de la preadolescencia (7-12 años). Esta consideración permitió realizar comparaciones adecuadas dado que pacientes que se encuentran en este periodo del desarrollo comparten características físicas, intelectuales, sociales y emocionales.⁷⁵ A diferencia de otros estudios en la literatura que incluyen pacientes con un rango de edad de 2-16 años,^{28,73,76} nuestros pacientes tenían preocupaciones y contestaciones similares a las preguntas de los cuestionarios, mismas características del desarrollo en la exploración física y una marcha acorde a su grupo de edad.

Además, nuestro objetivo era concreto dado que consistió en evaluar únicamente la técnica quirúrgica de liberación posterior frente al método de Ponseti. A diferencia de otros estudios, nosotros no agrupamos otras técnicas quirúrgicas dentro del grupo quirúrgico.³³ Este aspecto es fundamental, porque quisimos aclarar si los pacientes intervenidos mediante la técnica de liberación posterior, siendo una técnica menos agresiva que la liberación posteromedial o posteromedial-lateral, presentaban unos resultados superiores o similares a los pacientes del grupo Ponseti. También, a diferencia de otros estudios, no incluimos pacientes con un fracaso del tratamiento conservador (método Ponseti) y que posteriormente recibieron un tratamiento quirúrgico en el grupo quirúrgico.^{31,34,40} La técnica de liberación

posterior en el contexto de una recidiva puede tener peores resultados y confundir el efecto beneficioso de la cirugía.⁷⁷ Además, existen estudios que comparan el grupo quirúrgico (incluyendo pacientes con múltiples cirugías adicionales) con el método Ponseti (con un mínimo de cirugías adicionales) que distorsiona probablemente los resultados del tratamiento índice.²⁸

- **Análisis de la recidiva**

Una de las formas para evaluar la superioridad de un tratamiento sobre otro es el análisis de las recidivas y el tipo y número de cirugías adicionales necesarias para corregirlas. Tal como se ha mencionado previamente, los grupos eran comparables entre sí dado que no hubo un sesgo de selección y los pacientes se agruparon según la cirugía índice y con una distribución similar de cirugías adicionales.

Un aspecto a destacar en este apartado es que obtuvimos una tasa de recidiva de la deformidad del 20-40% en los dos grupos de tratamiento que es concordante con las tasas publicadas en la literatura.⁷⁸⁻⁸² Un hallazgo interesante es que al realizar un subanálisis, se encontraron diferencias en el tipo y número de cirugías adicionales necesarias para corregir la recidiva según si se utilizó un método u otro. Más específicamente, de una manera similar a Halanski et al. se observó una mayor proporción de recidivas mayores en el grupo quirúrgico. En nuestro estudio observamos que el grupo de liberación posterior presentó una

mayor proporción de pies con recidiva mayor (91%) frente al grupo del método de Ponseti (36%), $p=0,024$.³³ En el grupo Ponseti, 7 pies (64%) precisaron de cirugías de partes blandas frente a 1 pie en el grupo de liberación posterior que requirió una transferencia del tibial anterior y alargamiento del tibial posterior. Por otro lado, advertimos la mayor prevalencia de osteotomías de cuboides en el grupo de liberación posterior indicando una mayor severidad de recidiva de la supinación y aducción y agresividad en el tipo de tratamiento corrector.

El hecho de que las recidivas en el grupo quirúrgico fueran de características más severas puede ser entendido en parte por la menor corrección de la deformidad mediante el empleo del método de Kite. Primero de todo, en el método de Kite, la abducción del pie contra la articulación calcáneo-cuboidea produce un bloqueo de la abducción del calcáneo y por lo tanto evita la corrección del varo del retropié.¹⁶ Kite pensó que el varo del retropié se corregiría simplemente con una eversión del calcáneo cuando realmente el calcáneo solo se puede evertir cuando se abduce, rotando lateralmente con el fulcro en el astrágalo.²⁶ Segundo, la pronación o eversión del antepié para corregir la supinación realmente lo único que produce es empeorar el cavo.^{26,83} Esto es debido a que la pronación del pie produce un bloqueo del calcáneo aducto debajo del astrágalo, aumentando el cavo, mientras que el mediopié y el antepié se torsionan a eversión.²⁵ Este efecto de torsión en algunos casos también puede dar un efecto de sobrecorrección del antepié,

observado por un pliegue lateral a nivel de la articulación calcaneocuboidea.⁸⁴ Ponseti en cambio aboga que la supinación del pie y el varo del retropié se corrigen con la abducción del pie en supinación con un apoyo sobre el astrágalo. Esto permite que el calcáneo pueda moverse a abducción por debajo del astrágalo y a su vez evertirse. Por todo lo expuesto anteriormente, el éxito, entendido como corrección de la deformidad y ausencia de recidiva, era muy variable con el método de Kite desde el 20% hasta el 90%.⁸⁵ Al final con el método de Kite se conseguía corregir la deformidad a costa de un mayor número de manipulaciones con yesos y en los casos recidivantes con cirugías más agresivas que en los pacientes que fueron tratados con el método Ponseti.²⁶

- **Análisis del examen físico**

En cuanto al examen físico, hay que destacar que las diferencias entre los grupos patológicos y el grupo control se evidencian en el rango articular a nivel del tobillo y en la circunferencia de las pantorrillas. En cambio, los rangos de movimiento a nivel de la cadera y de la rodilla eran similares en los grupos patológicos y el grupo control. Este dato es importante, porque confirma que el pie zambo idiopático es un problema congénito del desarrollo muscular que afecta de forma predominantemente a la musculatura flexora de la pierna (sobre todo músculo tríceps surae y tibial posterior) y

consecuentemente, a la biomecánica del pie y tobillo.¹⁰ También podemos observar que la media de las rotaciones en la cadera en los grupos patológicos era similar a la media del grupo control. Este dato es sustancial dado que la intrarrotación de los miembros inferiores se debe a uno de los tres tipos de deformidad: metatarso aducto, torsión tibial interna y anteversión femoral. Según la exploración clínica, los pacientes no presentaban una movilidad pasiva de la rotación interna de la cadera mayor de 80°, indicando que la anteversión femoral se había corregido en este grupo de pacientes. Tal y como está descrito en la literatura, la anteversión femoral tiene su mayor expresión clínica entre los 4-8 años con tendencia a la corrección espontánea alrededor de los 7 años pudiéndose compensar con una torsión tibial externa o un cambio en la inclinación del acetábulo y agravarse con una rotación tibial interna.⁸⁶

En cuanto a la movilidad del tobillo, tanto en el grupo de liberación posterior como en el grupo Ponseti, se observó un menor recorrido articular cuando se comparaba con el grupo control. Estos hallazgos son acorde con trabajos que también mencionan una rigidez a nivel del tobillo con un seguimiento a largo plazo.^{35,87} En cambio no pudimos observar que los pacientes del grupo quirúrgico presentaran una mayor rigidez del tobillo cuando lo comparamos con el grupo Ponseti.^{28,38,77,87,88} Este hallazgo sugiere dos posibles explicaciones. La primera asume que la rigidez del tobillo es intrínseca a la enfermedad. Otra explicación es que la técnica quirúrgica de liberación

posterior, al ser menos agresiva sobre las partes blandas, genera una menor rigidez que las otras técnicas y por lo tanto se asemeja más a los resultados del método de Ponseti.

La importancia de la normalización de las variables se evidencia en la discrepancia entre valores p normalizados y no normalizados. Podemos observar que hubo diferencias significativas entre los grupos de comparación en la longitud del pie, la longitud de la pierna, la talla, el peso y la circunferencia de las pantorrillas. Todas estas variables tienen una clara relación con la edad y por lo tanto es vital tenerlas en cuenta si el paciente se encuentra en una fase del crecimiento.^{53,75} Por lo tanto, se normalizaron las variables para poder realizar comparaciones entre los grupos. Uno de los hallazgos importantes es que no encontramos diferencias en el tamaño del pie ni en la circunferencia de las pantorrillas entre el grupo de liberación posterior y el grupo Ponseti. Este resultado contradice una publicación cuya metodología es cuestionable y concluye que los pacientes quirúrgicos presentaban una menor circunferencia de las pantorrillas que el grupo Ponseti.⁴⁰ En dicho estudio, los grupos de comparación pertenecían a edades del desarrollo diferentes (grupo Ponseti media 3.7 años \pm 2.1 versus grupo liberación posterior 8.9 \pm 3.4) y compararon un ratio (circunferencia de la pierna patológica con la circunferencia de la pierna contralateral). Esta comparación hubiera sido correcta si se hubieran comparado pacientes en el mismo grupo de desarrollo o si hubieran normalizado con la longitud de la pierna, pero sin

tener en cuenta ninguno de estos dos aspectos, la diferencia en el ratio que encontraron puede ser atribuible a las diferentes características de las fibras musculares (tipo 1 a tipo 2) que van transformándose durante el crecimiento.⁸⁹ En otras palabras, la masa muscular de los miembros inferiores no puede ser una medida de normalización sobretodo en una población donde el defecto principal yace en una musculatura patológica y no podemos excluir que la pierna contralateral no sea completamente normal.

El menor tamaño de la circunferencia de las pantorrillas en los grupos patológicos cuando lo comparamos con el grupo control probablemente sea debido a la biología muscular. Esta hipótesis fue corroborada por Ippolito et al, que indica que la atrofia muscular está presente en los fetos y los recién nacidos previo al comienzo de ningún tipo de tratamiento.¹⁰ Además, refiere que la atrofia muscular aumenta con la edad del paciente (que también justificaría un peor ratio en el grupo quirúrgico en el estudio descrito previamente) sugiriendo que existe un mecanismo de crecimiento muscular aberrante y que sea esta la causa principal de la patología del pie zambo idiopático.¹⁰

- **Análisis de los cuestionarios**

En cuanto a los cuestionarios, los pacientes tanto del grupo liberación posterior como del grupo Ponseti obtuvieron en la mayoría de los casos una puntuación global alta. Tanto los

padres como los niños estaban satisfechos con los resultados. De forma similar a otros estudios,^{28,32,38} las puntuaciones en cada uno de los subapartados de los cuestionarios fueron más altas en los pacientes del grupo Ponseti que las puntuaciones en los pacientes del grupo de liberación posterior, aunque en nuestro estudio no se encontraron diferencias significativas.

Otro dato interesante, es que, al revisar las preguntas de manera individual, se apreció una gran variabilidad en ciertas preguntas (cuyas respuestas eran determinantes de la puntuación final). De forma resumida, los pacientes con pie zambo pueden mostrar ligeras dificultades al correr, ir en bicicleta, andar largas distancias y participar en deportes de alta competición. También, periódicamente se quejan con tener un pie más pequeño que el otro y otras veces de producirles ciertas molestias.²⁸ Esta selección es importante dado que el tener estas preguntas y respuestas en mente, nos permite identificar rápidamente pacientes que puede que estén o no satisfechos con los resultados. De todas formas, las puntuaciones fueron muy altas indicando que son problemas aislados y de características leves.

- **Análisis radiográfico**

Es importante diferenciar entre deformidad residual y recidiva de la de deformidad, dado que los valores radiográficos tomados a esta edad corresponden a pacientes con deformidad residual y no a recidivas propiamente dichas. Entendemos como

deformidad residual, aquellos pacientes, que a pesar de haber realizado un tratamiento correcto (liberación posterior o método Ponseti), presentan una deformidad mínima que recuerda el equinovaro. En cambio, se habla de recidiva cuando hay una marcada deformidad residual que precisa de un tratamiento corrector. En la literatura la tasa de recidiva se encuentra alrededor del 25-30% y se ha expuesto previamente los pacientes que precisaron de cirugías adicionales cuando tuvieron una recidiva propiamente dicha de la deformidad.⁹⁰ Por lo tanto, en el momento del estudio radiográfico, los pacientes valorados no estaban pendientes de ningún tratamiento adicional, con lo cual se hablará de infra o sobre corrección del equinovaro, pero siempre teniendo en cuenta que los pies eran funcionales y estables, aunque evidentemente no completamente normales.

El análisis radiográfico demostró la presencia de deformidad residual en ambos grupos patológicos. El ángulo astrágalo-1º metatarsiano evalúa el grado de abducción del medio y antepié, con valores $<5^\circ$ indicando aducción del antepié.⁷ En los dos grupos patológicos se apreció un aducto del antepié del 20-30%. El metatarso aducto es la deformidad residual más frecuentes en pacientes con pie zambo tratados tanto con técnicas quirúrgicas como con el método de Ponseti y se manifiesta con un intoeing durante la marcha.⁹¹ Una de las posibles causas del metatarso aducto está relacionado con el incumplimiento del tratamiento con la ortesis.⁹²⁻⁹⁵ De hecho, Dobbs et al. refiere que los pacientes con incumplimiento del tratamiento con la ortesis

de abducción tienen 183 veces más probabilidad de recidiva de la deformidad.⁹² Por eso mismo, cada vez más, instruimos a los padres de colocar la ortesis durante el tiempo indicado para prevenir el intoeing secundario al desbalance muscular inversor-eversor. Otro aspecto a tener en cuenta es que a los pacientes del grupo de liberación posterior se les realizó una tenotomía del abductor del hallux de forma rutinaria en la cirugía índice para prevenir el metatarso aducto. Teniendo en cuenta que se les hizo un procedimiento adicional y la proporción de pacientes con metatarso aducto no ha sido inferior nos refuerza indicar el método Ponseti dado que consiguió unos resultados similares simplemente con la manipulación y enyesado progresivo.

Los pacientes del grupo de liberación posterior presentaron una mayor proporción de pacientes con un descenso en el ángulo astrágalo-calcáneo tanto en la radiografía anteroposterior como lateral indicando una deformidad residual en varo del retropié, $p=0,02$. La mayor proporción de infra corrección del varo del retropié en el grupo de liberación posterior se explica por el uso del método de Kite que utiliza un fulcro erróneo (sobre la articulación calcáneo-cuboidea) que evita que el calcáneo se abduzca por debajo del astrágalo y por lo tanto queda bloqueado en su posición de varo original.

No sabemos explicar porque no existió una concordancia perfecta en la proporción de pacientes con un varo del retropié según el ángulo astrágalo-calcáneo en la proyección anteroposterior (68%) y la proyección lateral (34%). Puede que

esta discrepancia sea debido a los puntos de corte elegidos que realmente son arbitrarios, aunque estén basados en estudios clínicos. En nuestro estudio nos hemos basado en los puntos de corte de Manaster et al, aunque los autores reconocen que los rangos de normalidad son variables según la edad.⁹⁶ A pesar de la ausencia de concordancia completa entre las proyecciones, el grupo de liberación posterior presentó una mayor proporción de deformidad residual de varo del retropié en comparación con el grupo Ponseti.

La sobrecorrección en valgo del retropié también fue más frecuente en el grupo de liberación posterior, aunque fueron casos aislados (7% según la proyección AP y 2% según la proyección lateral). Este dato es importante porque la sobrecorrección en valgo del retropié parece ser una causa de dolor a largo plazo.⁹⁷ A día de hoy no sabemos la causa de la sobrecorrección en valgo del retropié. Según Hayes et al. es el enyesado forzoso en abducción del antepié y no los procedimientos quirúrgicos adyuvantes lo que altera la biomecánica y produce la sobrecorrección.⁹⁷

La proporción de pies planos por sobrecorrección también fue mayor en el grupo de liberación posterior (84%) que en el grupo Ponseti (70%), aunque la diferencia no fue significativa. Está descrito en la literatura que la sobrecorrección del pie zambo hacia unos pies planos rígidos parece estar relacionado con el tipo de alargamiento sobre el tendón de Aquiles y la tenotomía intramuscular del tibial posterior.⁹⁸

En los pacientes con liberación posterior se realizó una Z-plastia del tendón de Aquiles. La Z-plastia tiene un mayor potencial de alargamiento del tendón (si no se realiza un ajuste intraoperatorio de la tensión) con el alto riesgo de sobrecorrección además de producir un mayor riesgo de insuficiencia muscular. Esto se debe a que el cirujano "elige" donde se suturan los dos cabos del tendón sin saber objetivamente cual es la tensión ideal. En cambio, en la tenotomía percutánea que describe Ponseti únicamente se realiza una tenotomía sobre el tendón de Aquiles. Este hecho permite al cirujano poder realizar una manipulación de la articulación del tobillo en flexión dorsal y notar como las fibras tendinosas se estiran de manera controlada hasta romperse. Estas fibras después cicatrizarán en una posición determinada con el enyesado (10° de dorsiflexión).¹⁸

De una manera similar a otros estudios, únicamente observamos signos mínimos y moderados de artrosis en el grupo quirúrgico sobretodo a nivel de las articulaciones subastragalina (14%) y tibioastragalina (9%) las cuales coinciden con la liberación capsular en la liberación posterior.^{30,37,38} Este hallazgo es concordante con la evidencia científica que la cirugía articular produce un daño local que puede progresar a la artrosis.⁹⁹ La agresión quirúrgica activa los genes inflamatorios locales produciendo una reacción de destrucción del cartílago articular, erosión subcondral, hiperplasia sinovial e infiltración leucocitaria que dura aproximadamente 8 semanas. Con el paso del tiempo y

mediante macro o micro traumatismos de repetición las lesiones evolucionan a una artrosis postraumática.¹⁰⁰

- **Análisis del astrágalo plano**

La deformidad del astrágalo en los pacientes con pie zambo es una característica descrita en la literatura, si bien muy pocos artículos analizan la repercusión clínica.^{44,70,101,102} Actualmente desconocemos la etiología del astrágalo plano. Existe un estudio que correlaciona el astrágalo plano con cirugías de liberación agresivas.¹⁰³ Pinto et al surgieron que el astrágalo plano es una complicación quirúrgica y por lo tanto es más prevalente en pacientes con cirugías de liberación extensa como la liberación posteromedial. Según los autores, la liberación posteromedial, al realizar una liberación periastragalina amplia, daña las ramas colaterales del astrágalo produciendo una necrosis avascular de la cúpula astragalina característica del astrágalo plano. Por otro lado, hay otro grupo de autores que defienden que el astrágalo plano es una complicación del enyesado por una manipulación forzosa en dorsiflexión prolongada en el tiempo que a su vez produce un moldeamiento en el cartílago en desarrollo del niño.¹⁰⁴ Una de las limitaciones de los estudios clínicos es que las conclusiones son extraídas de la observación de 9-14 pacientes con astrágalo plano.^{43,45,103}

Aunque ambas teorías son plausibles y concordantes con nuestros datos, nuestra interpretación sobre la etiología del

astrágalo plano es diferente. En nuestra serie, presentamos un total de 34 pies con astrágalo plano frente a 34 sin deformidad, siendo una de las series más grandes descritas hasta el momento. Es importante destacar que en nuestro estudio la distribución del astrágalo plano fue similar entre los dos grupos de tratamiento (51% de los pies de liberación posterior frente al 48% de pies del método de Ponseti) teniendo en cuenta que la clasificación inicial la realizó un radiólogo especialista que era ciego al tratamiento.

Aunque sea cierto que tanto en el método de Kite como en el método de Ponseti se emplea dorsiflexión del pie durante la manipulación, hay una diferencia importante en las manipulaciones y los tiempos de enyesado entre los dos métodos. En el método de Ponseti, las manipulaciones eran suaves y progresivas (un total de 4-8 yesos o 2 meses) y posteriormente se realizaba una tenotomía percutánea del Aquiles. En cambio, con el método de Kite, no era infrecuente que, al utilizar un fulcro erróneo, se realizaban múltiples manipulaciones forzosas y enyesados durante 3 meses. A partir de entonces, se realizaba la liberación posterior para acabar de corregir la deformidad y finalmente otro enyesado durante 2 meses adicionales.

Teniendo en cuenta que ni el tipo de tratamiento era el mismo (uno con agresión quirúrgica y posible lesión vascular y otro sin), ni el tipo de enyesado (diferentes fulcros de apoyo y tiempos de enyesado) y que a pesar de ello hubo una distribución homogénea entre los grupos, consideramos que el astrágalo plano es una condición idiopática y no una complicación.

En definitiva, no rechazamos las teorías previas, puesto que no tenemos datos en nuestro estudio que cirugías más agresivas o manipulaciones forzosas puedan aumentar la prevalencia de un astrágalo plano secundario postraumático. Pero podemos aportar que posiblemente exista un astrágalo plano idiopático.

Al contrario de lo esperado, los pacientes con astrágalo plano no presentaron una menor movilidad ni menor fuerza en el tobillo. Solo existe un estudio en la literatura que realiza un estudio clínico en pacientes con astrágalo plano y encuentra menor rango articular a nivel del tobillo.⁴³ Es importante destacar que el estudio tiene varias limitaciones. Para empezar, los autores realizan esta conclusión con la comparación de 9 pies con astrágalo plano con otros 9 pies con un astrágalo que ellos denominan como cúpula redondeada (small-dome talus). Además, el rango de edad de los grupos de comparación es de 10.1 a los 20.9 años, sin especificar la edad media por grupo. Por último, los rangos de movilidad se registraron únicamente con un goniómetro. Por todo ello, es difícil aceptar las conclusiones proporcionadas.

En nuestro estudio, en cambio, no hemos podido encontrar una repercusión cinemática ni cinética evidente en el laboratorio biomecánico entre los pacientes patológicos con astrágalo plano y sin astrágalo plano. No observamos un menor rango de movilidad entre los dos grupos como se puede apreciar en la curva en el plano sagital a nivel del tobillo (picos de flexión

dorsal y flexión plantar). Tampoco parece haber una alteración en el eje transversal significativo a nivel del tobillo. Por último, los pacientes con astrágalo plano parecen tener una fuerza de apoyo y fuerza de despegue y un momento de flexo/extensión a nivel del tobillo similar a los pacientes sin astrágalo plano. Una posible explicación a este fenómeno puede ser que el hallazgo radiográfico de astrágalo plano (que es un concepto óseo) no se correlacione clínicamente con la biomecánica de la articulación al no evaluar la superficie articular cartilaginosa. Posiblemente, el tener un astrágalo plano no es equivalente a tener un cartílago articular defectuoso (al menos en este grupo de edad) y por ello mismo no haber diferencias entre los dos grupos. Sería por lo tanto interesante realizar un seguimiento a los pacientes con astrágalo plano y analizar el cartílago con otras pruebas tales como la resonancia magnética para comprender mejor la anatomía y significación del astrágalo plano.

- **Análisis biomecánico de la marcha**

Sutherland et al y Lööf et al recomiendan que es importante evaluar la cinemática y cinética de la marcha en un grupo de edad específico y cuando la marcha está claramente desarrollada que suele ser alrededor de los 5 años de edad.^{30,37,53} Existen varios estudios que evalúan la "marcha" a los 2 años de edad (los niños comienzan a andar entre los 11 y 18 meses) y no refleja necesariamente su patrón de marcha en el

futuro.^{28,30,33,34,38,50,51} Por eso mismo, en este estudio se realizó un análisis biomecánico de la marcha en pacientes preadolescentes (marcha adulta) eliminando el efecto del tamaño mediante la normalización de los parámetros relacionados directamente con la edad.⁵³

- **Parámetros espacio temporales**

En cuanto al análisis de los parámetros espacio temporales y tras la normalización de las variables cabe destacar que los grupos patológicos presentan un patrón diferente al del grupo control. Podríamos decir que existen tres patrones de marcha diferentes, aunque son más similares los patrones de los pacientes patológicos entre sí que con el del grupo control. Este hallazgo es importante, porque refuerza nuestra hipótesis que la técnica de liberación posterior es menos agresiva y obtiene unos resultados más parecidos al grupo Ponseti que aquellos descritos en la literatura donde la técnica de liberación postero-interna obtiene unos resultados inferiores.^{28,32,38,66,72,87}

En cuanto al tipo de marcha, los grupos patológicos presentan una marcha ligeramente más lenta, con aumento de la base de sustentación y aumento del tiempo de apoyo bipodal indicando que tienen una menor estabilidad y coordinación en la marcha (dado que permanecen más tiempo en la fase de apoyo que el grupo control). Es de interés destacar que los pacientes del grupo Ponseti presentaron una cadencia ligeramente superior que

el grupo de liberación posterior y este hallazgo fue estadísticamente significativo, indicando que estos pacientes presentan una marcha más rápida en proporción al número de pasos que dan por unidad de tiempo.

Es interesante observar los errores de interpretación de los resultados espaciotemporales de las tablas de otros artículos por no haber normalizado las variables. Este hecho es evidente sobretodo en el artículo de Church et al. donde se aprecia que el grupo quirúrgico (media 9.2 ± 1.3 años) tenía una mayor velocidad de la marcha, longitud de paso y anchura de paso comparado con el grupo Ponseti (media 6.3 ± 1.4 años) que simplemente se podría explicar por el mayor tamaño de los pacientes.³² Es curioso cómo no le dieron importancia a unos resultados que en principio iban en contra de sus conclusiones tal y como están expuestos pero que muy probablemente si se hubieran normalizado no hubieran sido tan contradictorios.

Otro aspecto a tener en cuenta es que los estudios que realizaron una comparación de los parámetros espaciotemporales entre el grupo quirúrgico y el método de Ponseti no encontraron diferencias significativas pero las conclusiones o interpretaciones reflejan lo contrario.^{32,38} En el estudio de Smith et al, no encontraron diferencias en la velocidad de la marcha, cadencia, longitud de paso ni tiempos de apoyo entre los grupos patológicos pero concluye que los resultados del grupo quirúrgico eran inferiores al método Ponseti (a pesar de que la diferencia

podría ser explicada por el azar).³⁸ En el estudio de Church et al., aparte del error de normalización explicado previamente, realmente encuentra diferencias cuando comparan el grupo quirúrgico con el grupo control y concluye que los pacientes del método Ponseti caminan con una marcha más normal que el grupo quirúrgico.³² Es posible que hayan decidido exponer estas conclusiones dado que el método Ponseti en la actualidad es el tratamiento de referencia por su sencillez y menor agresión que los métodos quirúrgicos.

- **Análisis cinemático**

La interpretación de las gráficas de la cinemática a nivel de la cadera, rodilla y tobillo se realizó de forma individual. La definición de una cinemática anormal fue muy estricta, dado que las curvas de cada paciente por encima o por debajo de una desviación estándar de la media del grupo control se consideró como anormal. Esta forma de agrupar y clasificar los patrones de la marcha es la usada en la literatura^{28,29,30,32,33,37,38,50,51,65,72,105}, pero no hay evidencia que realmente sea ese el punto de corte en el cual podamos decir que un paciente presenta realmente una cinemática anormal. Si hubiéramos utilizado el punto de corte de anormalidad basado en dos desviaciones estándar por encima o por debajo de la media del grupo control, posiblemente una gran proporción de pacientes patológicos hubieran presentado una

marcha normal dado que las diferencias encontradas con una desviación fueron sutiles. Este hecho refuerza que los pacientes tratados con ambos métodos (incluso el grupo de liberación posterior) estaban adecuadamente corregidos y eran altamente funcionales en este grupo de edad. De todas formas, en este estudio decidimos utilizar la definición clásica de una desviación estándar para así poder comparar nuestros resultados con las otras series publicadas.

El análisis visual de las curvas cinemáticas reveló diferencias en los patrones de la marcha sobre todo a nivel del plano sagital del tobillo. En nuestra serie, existe una prevalencia importante de pacientes con pie zambo con una marcha calcánea (pacientes que presentan una dorsiflexión excesiva a nivel del tobillo durante todo el ciclo de la marcha tanto en la fase de apoyo como en la fase de oscilación). Esta prevalencia de mayor dorsiflexión del tobillo, más frecuente en el grupo de liberación posterior (29%) que en el grupo Ponseti (12%), se puede entender por el alargamiento en Z del tendón Aquiles y la tenotomía intramuscular de los flexores plantares que se realiza con la liberación posterior y que crea un desequilibrio muscular favoreciendo la fuerza de los músculos flexores dorsales del tobillo. En el grupo Ponseti también existe una proporción de paciente con aumento de dorsiflexión durante el apoyo y marcha calcánea pero en menor proporción dado que la tenotomía percutánea del Aquiles permite una cicatrización del Aquiles con mayor tensión que una Z-plastia.¹⁰⁶ Una de las posibles

explicaciones para entender porque hubo casos con dorsiflexión excesiva en el grupo Ponseti puede ser debido a manipulaciones forzosas con el yeso en dorsiflexión, aunque este hecho era menos frecuente que con la técnica de Kite. Esto puede haber ocurrido sobre todo en los casos iniciales cuando los cirujanos hicieron la transición del método de Kite al método de Ponseti y haber sobre corregido la deformidad con el enyesado durante su curva de aprendizaje.

En el análisis cinemático en el plano coronal a nivel del tobillo se observó una mayor proporción de pacientes con eversión forzada en el grupo de liberación posterior (34%) frente al método Ponseti (21%). Este aspecto también puede ser explicado por el desequilibrio muscular; la tenotomía intramuscular del tibial posterior (cuya función consiste en invertir y aducir el pie), produce una mayor dominancia de los músculos peroneos favoreciendo la rotación externa y eversión del pie.¹⁰⁷

Por otro lado, a diferencia de otros estudios,^{49,108,109} no observamos ningún paciente con marcha equina ni por lo tanto hiperextensión de la rodilla compensatoria por pie caído. El hecho de que no haya pacientes con marcha equina puede ser debido a que los pacientes son más mayores que las otras series (pacientes entre 2-5 años) y ya hayan recibido todas las cirugías correctoras de una posible recidiva del equino.^{34,50,65} También se puede entender porque de forma protocolaria se realizó en la mayoría de casos en los dos grupos patológicos ya sea un

alargamiento en Z del Aquiles o una tenotomía percutánea del Aquiles para prevenir la recidiva.

En cuanto al análisis cinemático en el plano transversal a nivel de la cadera hubo una mayor prevalencia de rotación externa de la cadera en los pacientes del grupo de liberación posterior (11%) frente al grupo Ponseti (6%). La rotación externa excesiva es un mecanismo compensatorio de una rotación interna distal patológica (tibia o pie). Este hallazgo como compensación del intoeing ya fue descrito por Theologis et al.⁷³ De todas formas, consideramos que es difícil la interpretación de las curvas cinemáticas en el plano transversal de la cadera por la gran variabilidad entre individuos en la rotaciones durante el ciclo de la marcha. A diferencia de las curvas a nivel del tobillo y la rodilla donde hay patrones claramente diferenciados en el tiempo (apoyo, despegue y oscilación), no podemos decir lo mismo en cuanto a las rotaciones de la cadera. Además, las medidas de la rotación de la cadera en la marcha son de validez limitada por su bajo rango de movimiento y alta sensibilidad a los errores por artefactos de los tejidos blandos.⁷² Por lo tanto, simplemente clasificamos como rotación externa excesiva si estaban una desviación estándar por encima de la media de los controles, pero no se pudo describir las rotaciones en los pacientes patológicos de manera individual porque no encontramos ni siquiera un patrón característico en el grupo control. De hecho, no se conoce a día de hoy todos los mecanismos subyacentes de la rotación pélvica durante la marcha.¹¹⁰

- **Análisis cinético**

En cuanto al análisis cinético, la media de los grupos patológicos se encontraba dentro de una desviación estándar por encima o por debajo de la media de los controles. De todas formas y al igual que en otros estudios, se intuyó en los grupos patológicos un patrón de menor fuerza de impacto y menor fuerza de despegue.^{29,34,48,50,51,65,66} Esta pérdida de la potencia flexora plantar y de la fuerza de los gastrocnemios tiene dos posibles explicaciones.⁴⁸ Primero de todo, el alargamiento en Z o tenotomía del Aquiles se regenera en un tendón de características histológicas diferentes al primario. Mientras que en un tendón nativo las fibras de colágeno se encuentran en una disposición en paralelo y con una mínima infiltración celular, los tendones tras una lesión quirúrgica se caracterizan por una disminución en el número de fibras de colágeno, un patrón desorganizado y un aumento de células mononucleares.^{111,112} En segundo lugar, aparte de la diferente composición histológica tras una agresión, los paciente con pie zambo se caracterizan por presentar una musculatura flexora aberrante.^{10,113} Handsman et al. realizó un estudio histológico en biopsias musculares de pacientes con pie zambo y observó que los músculos presentaban una proporción anormalmente alta de fibras de alta tensión y baja contracción (tipo I). Por lo tanto, tanto la anomalía muscular propia de la

enfermedad como la agresión quirúrgica sobre el Aquiles para corregir el equino pueden explicar la menor potencia flexora de los pacientes con pie zambo.

- **Análisis del intoeing**

En nuestra serie, el intoeing considerado como moderado o severo medido según el ángulo de progresión del pie¹¹⁴ fue más prevalente en los pacientes tratados mediante liberación posterior (27%) que en los tratados mediante el método Ponseti (23%), $p=0,024$. Nuestra prevalencia es inferior a la publicada en la literatura posiblemente porque la población de estudio en los otros artículos eran pacientes en edades más tempranas.^{34,48,115,116}

Al ser más mayores, el intoeing fisiológico puede haberse resuelto con la edad. La anteversión femoral suele corregirse a los 10 años, la torsión tibial a los 5 años y el metatarso aducto a los 6 años salvo en casos de rigidez.¹¹⁷ También hay que tener en cuenta, que en nuestra serie, se corrigieron las deformidades evidentes de recidiva del metatarso aducto o de torsión tibial interna mediante cirugía en los pacientes a los 6 años (osteotomía de tibia derrotacional, transferencia del tibial anterior u osteotomía de cuboides). Por otro lado, también consideramos que el éxito de nuestra baja prevalencia proviene del protocolo de la Unidad y de la insistencia del uso de la ortesis de abducción (tipo Denis Brown) hasta los 2 años (en los pacientes tratados

mediante liberación posterior) y hasta los 4 años (en los pacientes tratados mediante el método de Ponseti). Además, el uso de yesos por encima de la rodilla en ambos grupos puede explicar la mejoría en la derrotación de la tibia.³³

- **Limitaciones**

Existieron ciertas limitaciones en el estudio. En primer lugar, hay que hacer referencia al tamaño muestral. A pesar de haber partido de una base de datos de casi 100 pacientes, solo pudimos reclutar tras aplicar los criterios de exclusión y realizar las llamadas telefónicas a unos 53 pacientes. De todas formas, los grupos de comparación son similares en tamaño a los otros estudios publicados que realizaron análisis de la marcha.^{28,29,30,32,34,38,42,48-50,51,65,118}

En segundo lugar, no se empleó de forma rutinaria un sistema de clasificación preoperatorio de la gravedad del pie zambo. Como ya se ha expuesto previamente, el único criterio para utilizar un método u otro fue estrictamente cronológico. A partir del 2006 el método de Ponseti se introdujo en la Unidad, aunque la introducción fue gradual y según el miembro de la Unidad. Esto puede haber creado un sesgo de selección debido a que no sabemos qué criterios utilizaron los cirujanos del departamento de traumatología pediátrica para emplear la técnica de liberación posterior y el método de Ponseti. Puede haberse

dado la situación, que los pies con más deformidad se seleccionaran directamente a cirugía (por ser más agresiva) y los que "mejor" aspecto tenían se seleccionaran para hacer el método de Ponseti. De todas formas, es importante destacar un artículo que rebate este posible sesgo de selección. Según Chu et al. hay una pobre correlación entre la puntuación en los sistemas de clasificación preoperatorios de Pirani y Dimeglio y los resultados finales tras un tratamiento quirúrgico o con el método de Ponseti. Por lo tanto, según Chu et al, no existe en la actualidad un sistema de clasificación preoperatorio que determine el tipo de tratamiento a elegir y el resultado esperado final.¹⁵ De una manera similar, Gottshalk et al. describe que tampoco encuentra una correlación entre la puntuación inicial según Dimeglio y el análisis de la marcha.⁶⁵

Tercero, no pudimos realizar una comparación directa de pacientes de la misma edad puesto que el método Ponseti fue una técnica que se incorporó lentamente en el servicio. Esto es debido a que al ser una técnica "nueva" la incorporación del método Ponseti fue gradual porque no todos los cirujanos del departamento de traumatología infantil lo aceptaron de la misma forma. Por lo tanto, la media de edad del grupo de liberación posterior es ligeramente superior a la media de edad del grupo Ponseti. Al observar este sesgo de selección al iniciar el estudio, decidimos contrarrestarlo mediante la normalización de las variables dependientes de la edad. Este hecho nos aseguró que

pudiéramos comparar variables correctamente a pesar de la diferencia de edad.

Por otra parte, el hecho que la incorporación del método Ponseti fue progresivo y que en este estudio incluimos los "últimos" pacientes en los que se realizó la liberación posterior frente a los "primeros" pacientes que se empezó a utilizar el método de Ponseti se generó otro posible sesgo de selección. Realmente en este estudio hemos comparado la técnica que se realizaba en el servicio de nuestro centro de forma habitual durante varias décadas con los inicios de las manipulaciones seriadas con un fulcro sobre la cabeza del astrágalo y no sobre la calcáneo-cuboidea. Por lo tanto, es inevitable que posiblemente hayamos comparado los mejores resultados quirúrgicos posibles con los resultados de la curva de aprendizaje del método Ponseti. Teniendo en cuenta que todas las técnicas tienen sus curvas de aprendizaje, indudablemente los resultados que hemos mostrado del método Ponseti posiblemente sean inferiores a los resultados que estamos obteniendo actualmente en la consulta. Actualmente es posible que la recidiva del método de Ponseti se situó en torno al 5% y no cerca del 30% como obtuvimos en este estudio.⁹⁵ En cualquier caso, es importante destacar, que el método de Ponseti obtuvo unos resultados muy buenos incluso en algunas secciones por encima de los valores del grupo de liberación posterior.

CONCLUSIONES

1. Los pacientes preadolescentes con pie zambo, tratados mediante liberación posterior o mediante el método Ponseti, a pesar de mostrar ciertas diferencias en los aspectos de evaluación (recidiva, examen físico, cuestionarios, radiografías y biomecánica de la marcha), son altamente funcionales.
2. El mejor conocimiento de la fisiopatología del pie zambo mediante el método de Ponseti permite una corrección más anatómica que hace que el tipo de cirugía en caso de recidiva sea principalmente de partes blandas.
3. Los pacientes operados con la técnica de liberación posterior, precisa de cirugías mayoritariamente óseas en caso de recidiva para corregir la deformidad.
4. El análisis físico, tras la normalización de las variables, muestra que el principal problema de los pacientes con pie zambo se encuentra en el limitado rango articular del tobillo. Todo ello posiblemente tenga un origen sobre una musculatura flexora plantar aberrante evidenciado por el menor tamaño de las pantorrillas.
5. Los cuestionarios revelan una satisfacción global alta en los grupos patológicos independientemente del

tratamiento. Es importante destacar ciertas preguntas porque permiten identificar con rapidez los problemas fundamentales de los niños en este grupo de edad.

6. En cuanto al análisis radiográfico, los pacientes en la edad preadolescente presentan signos de deformidad residual. La deformidad residual más frecuente en los grupos patológicos es el metatarso aducto y el varo del retropié. También es frecuente la sobrecorrección a un pie plano rígido.
7. La artrosis no parece ser un problema grave en este periodo de edad. Ciertamente, los pacientes que fueron intervenidos mediante liberación posterior presentan mayor prevalencia de signos leves y moderados de artrosis a nivel de las articulaciones subastragalina y tibioastragalina coincidiendo con las articulaciones en las que se realiza una liberación capsular.
8. Debido a la distribución homogénea entre los dos grupos de tratamiento, proponemos que el astrágalo plano es una alteración idiopática y no tanto una complicación derivada de una agresión quirúrgica o de un enyesado forzoso. La presencia de un astrágalo plano radiográfico

no se correlaciona con peores resultados cinemáticos ni cinéticos.

9. En cuanto al tipo de marcha, los grupos patológicos presentan una marcha ligeramente más lenta, con aumento de la base de sustentación y aumento del tiempo de apoyo bipodal indicando que tienen una menor estabilidad y coordinación en la marcha.
10. Los pacientes del grupo Ponseti presentaron una cadencia ligeramente superior al grupo de liberación posterior, indicando que estos pacientes presentan una marcha más rápida en proporción al número de pasos que dan por unidad de tiempo.
11. El análisis visual de la cinemática reveló que el grupo de liberación posterior presenta una mayor proporción de pacientes con aumento de la dorsiflexión durante el apoyo, marcha calcánea, eversión forzada previo al despegue y un aumento de la rotación externa de cadera para compensar el intoeing.
12. El análisis cinético confirmó la menor fuerza que presentan los pacientes con pie zambo en el frenado y despegue durante el ciclo de la marcha posiblemente por

la agresión quirúrgica sobre el Aquiles y fisiopatología neuromuscular de la enfermedad.

13. Afirmamos que el método de Ponseti es la técnica de elección. A pesar de haber reflejado unos resultados muy satisfactorios con el método de liberación posterior, la menor agresión quirúrgica y mejor comprensión fisiopatológica nos hace ser partidarios del método Ponseti.
14. Finalizamos enviando un mensaje convincente a todas las familias y pacientes que fueron tratados previamente con la técnica de liberación posterior que los resultados son buenos con esta técnica. Más estudios y con una evaluación a largo plazo, podrán esclarecer la evolución de los pacientes tratados con liberación posterior en el camino de la adolescencia a la edad adulta.

REFERENCIAS

1. Wynne-Davies R. Genetic and environmental factors in the etiology of talipes equinovarus. *Clin Orthop Relat Res.* 1972;84:9-13.
2. Zions LE, Jew MH, Ebramzadeh E, Sangiorgio SN. The Influence of Sex and Laterality on Clubfoot Severity. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(2):e129-e133.
doi:10.1097/BPO.0000000000000603.
3. Werler MM, Yazdy MM, Mitchell AA, et al. Descriptive Epidemiology of Idiopathic Clubfoot. *Am J Med Genet A.* 2013;161(7):1569-1578. doi:10.1002/ajmg.a.35955.
4. Dickinson KC, Meyer RE, Kotch J. Maternal smoking and the risk for clubfoot in infants. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol.* 2008;82(2):86-91. doi:10.1002/bdra.20417.
5. Beals RK. Club foot in the Maori: a genetic study of 50 kindreds. *N Z Med J.* 1978;88(618):144-146.
6. Honein MA, Paulozzi LJ, Moore CA. Family history, maternal smoking, and clubfoot: an indication of a gene-environment interaction. *Am J Epidemiol.* 2000;152(7):658-665.
7. Kelly DM. *Congenital and Development Disorders.* Thirteenth. Elsevier Inc.; 2017. doi:10.1016/B978-0-323-37462-0.00029-X.

8. Chung CS, Nemechek RW, Larsen IJ, Ching GH. Genetic and epidemiological studies of clubfoot in Hawaii. General and medical considerations. *Hum Hered.* 1969;19(4):321-342. doi:10.1159/000152236. 156
9. Collinson JM, Lindstrom NO, Neves C, et al. The developmental and genetic basis of “clubfoot” in the peroneal muscular atrophy mutant mouse. *Development.* 2018;145(3). doi:10.1242/dev.160093.
10. Ippolito E, De Maio F, Mancini F, Bellini D, Orefice A. Leg muscle atrophy in idiopathic congenital clubfoot: is it primitive or acquired? *J Child Orthop.* 2009;3(3):171-178. doi:10.1007/s11832-009-0179-4.
11. Shaheen S, Bahar MEH, Mohammed AHA, Elbadri SFA, Johari A. Arterial tree anomalies in patients with clubfoot: an investigation carried out at Soba University Hospital. *J Pediatr Orthop Part B.* 2018;27(1):67-72. doi:10.1097/BPB.0000000000000471.
12. Diméglio A, Souchet P, Mazeau P, Mazeau P, Bonnet F. Classification of clubfoot. *J Pediatr Orthop Part B.* 1995;4(2):129-136. doi:10.1097/01202412-199504020-00002.

13. Flynn JM, Donohoe M, Mackenzie WG. An independent assessment of two clubfoot-classification systems. *J Pediatr Orthop.* 1998;18(3):323-327. doi:10.1097/01241398-199805000-00010.

14. Fan H, Liu Y, Zhao L, et al. The Correlation of Pirani and Dimeglio Scoring Systems for Ponseti Management at Different Levels of Deformity Severity. *Sci Rep.* 2017;7(1):14578. doi:10.1038/s41598-017-14977-7.

15. Chu A, Labar AS, Sala DA, van Bosse HJP, Lehman WB. Clubfoot classification: correlation with Ponseti cast treatment. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(7):695-699. doi:10.1097/BPO.0b013e3181ec0853.

16. Anand A, Sala DA. Clubfoot: Etiology and treatment. *Indian J Orthop.* 2008;42(1):22-28. doi:10.4103/0019-5413.38576.

17. Huson A. Functional Anatomy of the Foot and Ankle. *Disord foot ankle.* 1991:409. doi:10.1111/j.1365-3164.2011.00976.x.

18. Ponseti I V. Congenital Clubfoot. 1996:125-131.

19. Kenneth MD, Kenneth B. SM. Tratamiento conservador del pie zambo idiopático. *J Am Acad Orthop Surg.* 2004;3:37-42.

20. Dolmanrg. Denis Browne bar. 24 September 2008. https://en.wikipedia.org/wiki/Denis_Browne_bar.
21. Chotel F, Parot R, Seringe R, Berard J, Wicart P. Comparative study: Ponseti method versus French physiotherapy for initial treatment of idiopathic clubfoot deformity. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(3):320-325. doi:10.1097/BPO.0b013e31820f77ba. 157
22. Dimeglio A, Canavese F. The French functional physical therapy method for the treatment of congenital clubfoot. *J Pediatr Orthop B*. 2012;21(1):28-39. doi:10.1097/BPB.0b013e32834ee5f8.
23. Faulks S, Richards BS. Clubfoot Treatment: Ponseti and French Functional Methods are Equally Effective. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(5):1278-1282. doi:10.1007/s11999-009-0754-5.
24. Rehman O , Richards J. The Rate of Recurrence of Club Foot Deformity in Patients Using Dennis Brown Splint. Vol 1.; 2013.
25. Swann M, Lloyd-Roberts GC, Catterall A. The anatomy of uncorrected club feet. A study of rotation deformity. *J Bone Joint Surg Br*. 1969;51(2):263-269.

26. Ponseti I V. Current concepts Common errors in the treatment of congenital clubfoot. 1997:137-141.
27. Bridgens J, Kiely N. Current management of clubfoot (congenital talipes equinovarus). *BMJ*. 2010;340.
28. Duffy CM, Salazar JJ, Humphreys L, McDowell BC. Surgical versus Ponseti approach for the management of CTEV: a comparative study. *J Pediatr Orthop*. 2013;33(3):326-332. doi:10.1097/BPO.0b013e31827d0b2c.
29. Karol LA, Jeans KA, Kaipus KA. The Relationship Between Gait, Gross Motor Function, and Parental Perceived Outcome in Children With Clubfeet. *J Pediatr Orthop*. 2016;36(2):145-151. doi:10.1097/BPO.0000000000000410.
30. Lööf E, Andriess H, André M, Böhm S, Broström EW. Gait in 5-year-old children with idiopathic clubfoot: A cohort study of 59 children, focusing on foot involvement and the contralateral foot. *Acta Orthop*. 2016;87(5):522-528. doi:10.1080/17453674.2016.1202013.
31. Hallaj-Moghadam M, Moradi A, Ebrahimzadeh MH. Clinical outcome of posteromedial versus posteromedial-lateral release for clubfoot. *J Pediatr Orthop B*. 2015;24(1):24-27. doi:10.1097/BPB.0000000000000124.

32. Church C, Coplan JA, Poljak D, et al. A comprehensive outcome comparison of surgical and Ponseti clubfoot treatments with reference to pediatric norms. *J Child Orthop.* 2012;6(1):51-59. doi:10.1007/s11832-012-0387-1.
33. Halanski M a, Davison JE, Huang J-C, Walker CG, Walsh SJ, Crawford H a. Ponseti method compared with surgical treatment of clubfoot: a prospective comparison. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(2):270-278. doi:10.2106/JBJS.H.01560. 158
34. Karol L a, O'Brien SE, Wilson H, Johnston CE, Richards BS. Gait analysis in children with severe clubfeet: early results of physiotherapy versus surgical release. *J Pediatr Orthop.* 2005;25:236-240. doi:10.1097/01.bpo.0000150815.56790.b0.
35. Ippolito E, Farsetti P, Caterini R, Tudisco C. Long-term comparative results in patients with congenital clubfoot treated with two different protocols. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A:1286-1294.
36. Machida J, Inaba Y, Nakamura N. Management of foot deformity in children. *J Orthop Sci.* 2017;22(2):175-183. doi:10.1016/j.jos.2016.12.009.

37. Graf A, Wu K, Smith P. Comprehensive review of the functional outcome evaluation of clubfoot treatment: a preferred methodology. *J Pediatr Orthop.* 2012;21(1):20-27. doi:10.1097/BPB.0b013e32834dd239.
38. Smith PA, Kuo KN, Graf AN, et al. Long-term results of comprehensive clubfoot release versus the Ponseti method: which is better? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(4):1281-1290. doi:10.1007/s11999-013-3386-8.
39. Naqvi U, Sherman A. Muscle Strength Grading. Uni of Miami, Jackson Health System PM&R: StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2017.
40. Fulton Z, Briggs D, Silva S, Szalay EA. Calf circumference discrepancies in patients with unilateral clubfoot: Ponseti versus surgical release. *J Pediatr Orthop.* 2015;35(4):403-406. doi:10.1097/BPO.0000000000000277.
41. Holt JB, Oji DE, Yack HJ, Morcuende JA. Long-term results of tibialis anterior tendon transfer for relapsed idiopathic clubfoot treated with the Ponseti method: a follow-up of thirty-seven to fifty-five years. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(1):47-55. doi:10.2106/JBJS.N.00525.

42. Favre P, Exner GU, Drerup B, Schmid D, Wetz HH, Jacob H a C. The contralateral foot in children with unilateral clubfoot: a study of pressures and forces involved in gait. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(1):54-59. doi:10.1097/bpo.0b013e31802b7183.
43. Kolb A, Willegger M, Schuh R, Kaider A, Chiari C, Windhager R. The impact of different types of talus deformation after treatment of clubfeet. *Int Orthop.* 2017;41(1):93-99. doi:10.1007/s00264-016-3301-5.
44. Dunn HK, Samuelson KM. Flat-top talus. A long-term report of twenty club feet. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(1):57-62. 159
45. Sullivan RJ, Davidson RS. When does the flat-top talus lesion occur in idiopathic clubfoot: Evaluation with magnetic resonance imaging at three months of age. *Foot Ankle Int.* 2001;22(5):422-425. doi:10.1177/107110070102200511.
46. Sambandam SN, Gul A. Stress radiography in the assessment of residual deformity in clubfoot following postero-medial soft tissue release. *Int Orthop.* 2006;30(3):210-214. doi:10.1007/s00264-005-0057-8.
47. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteoarthrosis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502.

48. Karol LA, Concha MC, Johnston CE 2nd. Gait analysis and muscle strength in children with surgically treated clubfeet. *J Pediatr Orthop*. 1997;17(6):790-795.
49. Jeans KA, Erdman AL, Jo C, Karol LA. A Longitudinal Review of Gait Following Treatment for Idiopathic Clubfoot: Gait Analysis at 2 and 5 Years of Age. *J Pediatr Orthop*. 2015;00(00):1-7. doi:10.1097/BPO.0000000000000515.
50. El-Hawary R, Karol L a, Jeans K a, Richards BS. Gait analysis of children treated for clubfoot with physical therapy or the Ponseti cast technique. *J Bone Joint Surg Am*. 2008;90(7):1508-1516. doi:10.2106/JBJS.G.00201.
51. Karol LA, Jeans K, Elhawary R. Gait analysis after initial nonoperative treatment for clubfeet: Intermediate term followup at age 5. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(5):1206-1213. doi:10.1007/s11999-008-0702-9.
52. Pheasant ST. A Review of: "Human Walking". By V. T. Inman, H.J. Ralston and F. Todd. (Baltimore, London: Williams & Wilkins, 1981.) [Pp.154.]. *Ergonomics*. 1981;24(12):969-976. doi:10.1080/00140138108924919.

53. Sutherland D, Olshen R, Biden E, Wyatt MP. The Development of Mature Walking. Clin Dev Med. 1988;277. doi:10.1136/adc.64.7.1099.
54. Piper MC, Darrah J. Motor Assessment of the Developing Infant. Saunders; 1994.
55. Folio MR, Fewell RR. Peabody Developmental Motor Scales: Examiner's Manual. Pro-Ed; 2000.
56. Ounpuu S. The biomechanics of walking and running. Clin Sports Med. 1994;13(4):843-863.
57. Prat J, Sanchez-Lacuesta J, Alcantara E, Valencia. I de B de. Biomecanica de la marcha humana normal y patologica. Valencia: Instituto de Biomecanica; 2005.
58. Kranzl A. CGA Normative Gait Database. 2000. <http://www.clinicalgaitanalysis.com/data/>.
59. Neumann DA. Foot and ankle. In: Kinesiology of the Musculoskeletal System; 2002:573-626.
60. Alfonso U, Sabio X. Plataformas dinamometricas. Aplicaciones. Susana Collado Vázquez. 2005;3.

61. Isabel A, Mendoza A, Ruiz JP. Marcha : descripción , métodos , herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. 2013;1(1):29-43.
62. Luximon Y, Cong Y, Luximon A, Zhang M. Effects of heel base size, walking speed, and slope angle on center of pressure trajectory and plantar pressure when wearing high-heeled shoes. *Hum Mov Sci.* 2015;41:307-319. doi:<https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.04.003>.
63. Yoshioka S, Huisman NJ, Morcuende JA. Peroneal nerve dysfunction in patients with comple clubfeet. *Iowa Orthop J.* 2010;30:24-28.
64. Song KS, Kang CH, Min BW, Bae GC, Cho CH, Lee JH. Congenital clubfoot with concomitant peroneal nerve palsy in children. *J Pediatr Orthop B.* 2008;17(2):85-89.
65. Gottschalk HP, Karol LA, Jeans KA. Gait analysis of children treated for moderate clubfoot with physical therapy versus the Ponseti cast technique. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(3):235-239. doi:10.1097/BPO.0b013e3181d3cba8.
66. Mindler GT, Kranzl A, Lipkowski CAM, Ganger R, Radler C. Results of gait analysis including the oxford foot model in children with clubfoot treated with the ponseti method. *J Bone*

Joint Surg Am. 2014;96(19):1593-1599.
doi:10.2106/JBJS.M.01603.

67. Karol LA, Jeans K, ElHawary R. Gait Analysis after Initial Nonoperative Treatment for Clubfeet: Intermediate Term Followup at Age 5. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(5):1206-1213. doi:10.1007/s11999-008-0702-9.

68. Haft GF, Walker CG, Crawford HA. Early clubfoot recurrence after use of the Ponseti method in a New Zealand population. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(3):487-493. doi:10.2106/JBJS.F.00169.

69. Vanderwilde R, Staheli LT, Chew DE, Malagon V. Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(3):407-415.

70. Bach CM, Wachter R, Stockl B, Gobel G, Nogler M, Frischhut B. Significance of talar distortion for ankle mobility in idiopathic clubfoot. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;(398):196-202.
161

71. IBV. Kinescan/IBV. 2012:1-9.
<https://gestion.ibv.org/gestoribv/index.php/productos/descargables/431-ibv-kinescan/file>.

72. Davies TC, Kiefer G, Zernicke RF. Kinematics and kinetics of the hip, knee, and ankle of children with clubfoot after posteromedial release. *J Pediatr Orthop*. 2001;21(3):366-371.
73. Theologis TN, Harrington ME, Thompson N, Benson MKD. Dynamic foot movement in children treated for congenital talipes equinovarus. *J Bone Joint Surg Br*. 2003;85:572-577. doi:10.1302/0301-620X.85B4.13696.
74. Ponseti I V, Zhivkov M, Davis N, Sinclair M, Dobbs MB, Morcuende JA. Treatment of the complex idiopathic clubfoot. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;451:171-176. doi:10.1097/01.blo.0000224062.39990.48.
75. Weisner T, Collins W. Development during Middle Childhood.; 1984. http://www.tweisner.com/yahoo_site_admin/assets/docs/Weisner_19842_Ecocultural_niches_of_middle_childhood_F10.231171508.pdf.
76. Ramanathan AK, Herd F, Macnicol M, Abboud RJ. A new scoring system for the evaluation of clubfoot: The IMAR-Clubfoot scale. *Foot*. 2009;19(3):156-160. doi:10.1016/j.foot.2009.04.001.

77. Dobbs MB, Nunley R, Schoenecker PL. Long-term follow-up of patients with clubfeet treated with extensive soft-tissue release. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(5):986-996. doi:10.2106/JBJS.E.00114.
78. Zionts LE, Sangiorgio SN, Ebramzadeh E, Morcuende JA. The current management of idiopathic clubfoot revisited: Results of a survey of the POSNA membership. *J Pediatr Orthop.* 2012;32(5):515-520. doi:10.1097/BPO.0b013e318259ff79.
79. Haft GF, Walker CG, Crawford HA. Early clubfoot recurrence after use of the Ponseti method in a New Zealand population. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 2007;89(3):487-493. doi:10.2106/JBJS.F.00169.
80. Radler C, Mindler GT, Riedl K, Lipkowski C, Kranzl A. Midterm results of the Ponseti method in the treatment of congenital clubfoot. *Int Orthop.* 2013;37(9):1827-1831. doi:10.1007/s00264-013-2029-8.
81. Lockett MR, Hosseinzadeh P, Ashley PA, et al. Factors predictive of second recurrence in clubfeet treated by ponseti casting. *J Pediatr Orthop.* 2015;35(3):303-306. doi:10.1097/BPO.0000000000000248. 162

82. Zions LE, Zhao G, Hitchcock K, Maewal J, Ebramzadeh E. Has the rate of extensive surgery to treat idiopathic clubfoot declined in the United States? *J Bone Jt Surg - Ser A*. 2010;92(4):882-889. doi:10.2106/JBJS.I.00819.
83. Frick SL. The Ponseti method of treatment for congenital clubfoot: importance of maximal forefoot supination in initial casting. *Orthopedics*. 2005;28(1):63-65.
84. Ascacio Solís MA. Manejo de la recidiva y complicaciones con el método de Ponseti en el tratamiento del pie equino varo. *WwwMedigraphicOrgMx*. 2015;11(4):200-206.
85. Turco VJ, Spinella AJ. Current management of clubfoot. *Instr Course Lect*. 1982;31:218-234.
86. Kling TFJ, Hensinger RN. Angular and torsional deformities of the lower limbs in children. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;(176):136-147.
87. Dobbs MB, Nunley R, Schoenecker PL. Long-term follow-up of patients with clubfeet treated with extensive soft-tissue release. *J Bone Jt Surg - Ser A*. 2006;88(5):986-996. doi:10.2106/JBJS.E.00114.

88. Derzsi Z, Nagy O, Gozar H, Gurzu S, Pop TS. Kite versus Ponseti Method in the Treatment of 235 Feet With Idiopathic Clubfoot: Results of a Single Romanian Medical Center. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(33):e1379. doi:10.1097/MD.0000000000001379.
89. Lexell J, Sjostrom M, Nordlund AS, Taylor CC. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve*. 1992;15(3):404-409. doi:10.1002/mus.880150323.
90. Parsa A, Moghadam MH, Jamshidi MHT. Relapsing and residual clubfoot deformities after the application of the ponseti method: a contemporary review. *Arch bone Jt Surg*. 2014;2(1):7-10.
91. Bhaskar A, Patni P. Classification of relapse pattern in clubfoot treated with Ponseti technique. *Indian J Orthop*. 2013;47(4):370. doi:10.4103/0019-5413.114921.
92. Dobbs MB, Rudzki JR, Purcell DB, Walton T, Porter KR, Gurnett CA. Factors Predictive of Outcome after Use of the Ponseti Method for the Treatment of Idiopathic Clubfeet. *J Bone Jt Surg - Ser A*. 2004;86(1):22-27. doi:10.2106/00004623-200401000-00005. 163

93. Morcuende JA, Dolan LA, Dietz FR, Ponseti I V. Radical Reduction in the Rate of Extensive Corrective Surgery for Clubfoot Using the Ponseti Method. *Pediatrics*. 2004;113(2):376-380. doi:10.1542/peds.113.2.376.
94. Avilucea FR, Szalay EA, Bosch PP, Sweet KR, Schwend RM. Effect of cultural factors on outcome of ponseti treatment of clubfeet in rural America. *J Bone Jt Surg - Ser A*. 2009;91(3):530-540. doi:10.2106/JBJS.H.00580.
95. Zhao D, Liu J, Zhao L, Wu Z. Relapse of clubfoot after treatment with the ponseti method and the function of the foot abduction orthosis. *CiOS Clin Orthop Surg*. 2014;6(3):245-252. doi:10.4055/cios.2014.6.3.245.
96. Manaster B, May D, Disler D. *Musculoskeletal Imaging: The Requisites*. 4th Edition. (Thrall JH, ed.). Philadelphia, PA: Elsevier Inc.
97. Hayes CB, Murr KA, Muchow RD, et al. Pain and overcorrection in clubfeet treated by Ponseti method. *J Pediatr Orthop B*. 2018;27(1):52-55. doi:10.1097/BPB.0000000000000442.

98. Turco VJ. Present Management of Idiopathic Clubfoot. *J Pediatr Orthop B*. 1994;3(2):149-154.

99. Punzi L, Galozzi P, Luisetto R, et al. Post-traumatic arthritis: overview on pathogenic mechanisms and role of inflammation. *RMD Open*. 2016;2(2):e000279. doi:10.1136/rmdopen-2016-000279.

100. Lieberthal J, Sambamurthy N, Scanzello CR. Inflammation in joint injury and post-traumatic osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil*. 2015;23(11):1825-1834. doi:10.1016/j.joca.2015.08.015.

101. Ponseti I V, El-Khoury GY, Ippolito E, Weinstein SL. A radiographic study of skeletal deformities in treated clubfeet. *Clin Orthop Relat Res*. 1981;(160):30-42.

102. Bach CM, Goebel G, Mayr E, Biedermann R, Rachbauer F. Assessment of talar flattening in adult idiopathic clubfoot. *Foot ankle Int*. 2005;26(9):754-760. doi:10.1177/107110070502600914.

103. Pinto JA, Hernandes AC, Buchaim TP, et al. Radiographic abnormalities of the talus in patients with clubfoot after surgical release using the McKay Technique. *Rev Bras Ortop*. 2011;46(3):293-298. doi:10.1016/S2255-4971(15)30198-1.

104. Mahmoodian R, Leasure J, Gadikota H, Capaldi F, Siegler S. Mechanical Properties of Human Fetal Talus. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(5):1186-1194. doi:10.1007/s11999-008-0693-6. 164
105. Jeans KA, Karol LA. Plantar Pressures Following Ponseti and French Physiotherapy Methods for Clubfoot. *J Pediatr Orthop*. 2010;30(1):82-89. doi:10.1097/BPO.0b013e3181c6c4de.
106. Nasr P, Berman L, Rehm A. Ultrasonographic findings after Achilles tenotomy during Ponseti treatment for clubfeet: Is ultrasound a reliable tool to assess tendon healing? *J Child Orthop*. 2014;8(5):405-411. doi:10.1007/s11832-014-0610-3.
107. Bubra PS, Keighley G, Rateesh S, Carmody D. Posterior Tibial Tendon Dysfunction: An Overlooked Cause of Foot Deformity. *J Fam Med Prim Care*. 2015;4(1):26-29. doi:10.4103/2249-4863.152245.
108. Higginson JS, Zajac FE, Neptune RR, Kautz SA, Burgar CG, Delp SL. Effect of equinus foot placement and intrinsic muscle response on knee extension during stance. *Gait Posture*. 2006;23(1):32-36. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.11.011.

109. Cheng JC, Chan PS, Hui PW. Joint laxity in children. *J Pediatr Orthop*. 1991;11(6):752-756.

110. Whitcome KK, Miller EE, Burns JL. Pelvic Rotation Effect on Human Stride Length: Releasing the Constraint of Obstetric Selection. *Anat Rec*. 2017;300(4):752-763. doi:10.1002/ar.23551.

111. Muratl HH, Dağl C, Yavuzer G, Çelebi L, Biçimoğlu A. Gait characteristics of patients with bilateral club feet following posteromedial release procedure. *J Pediatr Orthop B*. 2005;14(3):206-211. doi:10.1097/01202412-200505000-00013.

112. Dogan A, Uzumcugil O, Sarisozen B, et al. A comparison of percutaneous and mini-open techniques of Achilles tenotomy: an experimental study in rats. *J Child Orthop*. 2009;3(6):485-491. doi:10.1007/s11832-009-0207-4.

113. Handelsman JE, Badalamente MA. Club foot: a neuromuscular disease. *Dev Med Child Neurol*. 1982;24(1):3-12.

114. Thompson GH. Gait Disturbances. In: *Practical Strategies in Pediatric Diagnosis and Therapy: Second Edition*. ; 2004:823-843. doi:10.1016/B978-0-7216-9131-2.50049-X.

115. Beyaert C, Haumont T, Paysant J, Lascombes P, Andre JM. The effect of inturning of the foot on knee kinematics and kinetics in children with treated idiopathic clubfoot. *Clin Biomech.* 2003;18(7):670-676. doi:10.1016/S0268-0033(03)00114-1.
116. Davies TC, Kiefer G, Zernicke RF. Kinematics and kinetics of the hip, knee, and ankle of children with clubfoot after posteromedial release. *J Pediatr Orthop.* 2001;21(3):366-371. doi:10.1097/00004694-200105000-00020. 165
117. Derbyshire N, Group P. Intoeing gait. *Pocket Pod Paediatr.* 2010;(February):183-205. doi:10.1016/B978-0-7020-3031-4.00014-6.
118. Alkjaer T, Pedersen EN, Simonsen EB. Evaluation of the walking pattern in clubfoot patients who received early intensive treatment. *J Pediatr Orthop.* 2000;20(5):642-647.

ANEXOS