

Un nuevo método de evaluación diagnóstica y terapéutica de las patologías del pie basado en las plantillas instrumentadas Biofoot/IBV

A. MARTÍNEZ ASSUCENA^a, M.D. SÁNCHEZ RUIZ^a, M. BARRÉSCARS^b, C. PÉREZ LAHUERTA^b,
A. GUERRERO ALONSO^c y C. SOLER GRACIA^c

^aServicio de Rehabilitación Hospital General de Requena. ^bServicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital General de Requena.

^cInstituto de Biomecánica de Valencia.

Resumen.—*Introducción:* En este trabajo se realiza la puesta a punto y validación de un nuevo protocolo clínico de valoración diagnóstica de cuadros sindrómicos álgicos en el pie y de evaluación del tratamiento ortésico prescrito, basado en el uso de un sistema de registro de presiones plantares desarrollado a tal efecto Biofoot/IBV.

Material y métodos: Se ha realizado un estudio prospectivo de pacientes adultos en tres etapas: una inicial en la que se estableció un protocolo clínico que fue evaluado durante la segunda etapa (piloto) y utilizado en la última fase (práctica clínica). El protocolo clínico utilizado incluye la escala de valoración funcional de Kitaoka et al¹, y el sistema de medida de plantillas instrumentadas Biofoot/IBV para el diagnóstico clínico, prescripción y validación terapéutica, cuando ésta ha sido ortésica.

Resultados y discusión: El 75 % de los cuadros sindrómicos álgicos del pie correspondió a metatarsalgias. Se han identificado patrones de presiones tanto en la región metatarsiana como en el talón que, aunque no resultan efectivos en la detección de la presencia/ausencia de dolor (88 %/47 %), han contribuido a explicar las variaciones introducidas por el tratamiento ortésico aplicado. Los pacientes a quienes se les adjuntó a la prescripción a entregar a la ortopedia copia impresa del registro de presiones máximas presentaron evolución favorable en el 90 % de los casos, frente al 50 % de resultados favorables del grupo que no dispuso del registro.

Conclusiones: La utilización del sistema de plantillas instrumentadas Biofoot/IBV asociado al protocolo de valoración clínica descrito es un método diagnóstico válido de cuadros sindrómicos álgicos en el pie y efectivo en la evaluación de tratamientos ortésicos.

Palabras clave: *Plantillas instrumentadas. Ortesis plantar. Protocolo clínico. Metatarsalgia. Hallux valgus. Ortopedia.*

A NEW DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC DIAGNOSTIC METHOD OF THE FOOT DISEASE BASED ON BIOFOOT/IBV INSTRUMENTED INSOLES

Summary.—*Introduction:* The study carries out the up-dating and validation of a new clinical protocol of diagnostic assessment of painful syndromic pictures in the foot and evaluation of the orthotic treatment prescribed, based on the use of a registry system of plantar pressures developed for this, Biofoot/IBV.

Material and methods: A prospective study has been performed in adult patients in three stages: an initial one in which a clinical protocol was established and was evaluated during the second stage (pilot) and used in the final phase (clinical practice). The clinical protocol used included the functional assessment scale of Kitaoka et al¹, and the measurement system of Biofoot/IBV instrumented insoles for clinical diagnosis, prescription and therapeutic validation, whenever this was orthotic.

Results and discussion: 75 % of the painful syndromic pictures of the foot corresponded to metatarsalgias. Pressure patterns have been identified in both the metatarsian regions as well as in the heel which, although not effective in the detection of the presence/absence of pain (88 %/47 %), have contributed to the explanation of the variations introduced by the orthotic treatment applied. The patients that received a printed copy of the registry of maximum pressure, together with the prescription to present in orthopedics, showed favourable evolution in 90 % of the cases versus 50 % of the favourable results in the group that had not the registry.

Conclusions: The use of the Biofoot/IBV instrumented insole system combined with the protocol of clinical assessment described is a valid diagnostic method of painful syndromic pictures in the foot and effective in the assessment of orthotic treatments.

Key words: *Instrumented insoles. Plantar orthosis. Clinical protocol. Metatarsalgia. Hallux valgus. Orthopedics.*

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el diagnóstico clínico, valoración y tratamiento de patologías del pie se ha basado en el examen y anamnesis del paciente con el apoyo de algunas técnicas convencionales como la radiografía, la pedigráfica o, en el caso de tratamientos ortopédicos, la toma de molde del pie afectado. Sin embargo, es conocido que la etiología de un gran número de patologías del pie es de índole mecánica.

En la mayoría de los casos, el diseño y construcción de ortesis plantares por parte de los talleres de ortopedia, está basado en un método iterativo de prueba-error, utilizando como información de partida el molde estático del pie afecto y, en ocasiones, un registro pedigráfico estático. Con estas premisas, la adecuación final de la ortesis al paciente depende de la experiencia del técnico ortoprotésico y de la capacidad del paciente de transmitir los problemas de adecuación al técnico encargado de la confección.

El registro dinámico de la distribución de presiones plantares ha sido ampliamente utilizado para caracterizar aspectos funcionales del pie humano². Parámetros como los máximos de presión, los máximos de presión por regiones, y los impulsos mecánicos por zonas han sido utilizados para describir el patrón de carga de las diferentes regiones del pie³.

La aplicación clínica más extensa de los sistemas de valoración de la distribución de presiones plantares ha sido la evaluación de pies diabéticos y con neuropatía⁴⁻⁶. También existen estudios relativos a la aplicación de estos sistemas a la evaluación de la artritis reumatoidea en el pie⁷⁻¹⁰, la distribución de presiones en pies con *hallux valgus*^{11,12} o el estudio de talalgias, artrodesis de retropié y pie¹³⁻¹⁵.

Del análisis conjunto de estas publicaciones se han detectado una serie de carencias o aspectos mejorables sobre el proceso de diagnóstico, valoración y tratamiento de alteraciones y patologías del pie:

1. La exploración clínica del pie es básica para el médico que trabaja en aparato locomotor (cirujano ortopédico y traumatólogo, rehabilitador y reumatólogo), para el podólogo, para el técnico ortopédico y para cualquier otro profesional relacionado con la salud del pie. Es fundamental poder disponer de métodos de *diagnóstico* capaces de registrar la distribución de presiones plantares durante la marcha de forma objetiva y fiable, así como los valores concretos de presión en un punto determinado, los cuales pueden asistir al especialista a emitir un diagnóstico y aplicar el tratamiento, conservador o quirúrgico, más adecuado.

2. Estos valores de presión registrados, pueden agruparse en *patrones característicos de carga* en determinadas patologías que afectan al pie, incluso correlacionarse con signos clínicos como el dolor

localizado. La obtención de estos patrones asistiría de forma importante la labor diagnóstica del especialista clínico.

3. La utilización de un sistema de medida de presiones plantares en la práctica clínica diaria hace posible evaluar y documentar los efectos logrados en un paciente en particular tras la aplicación de un *tratamiento* conservador o quirúrgico.

4. La relación entre los especialistas clínicos responsables de una prescripción ortésica para un paciente y los técnicos ortoprotésicos responsables de la confección de la plantilla u ortesis plantar es en muchos casos deficitaria.

5. Los métodos de trabajo de la *industria ortopédica* española son, en muchos casos, artesanos. Es muy difícil encontrar metodologías de trabajo idénticas entre dos talleres de ortopedia a la hora de confeccionar una ortesis en particular. Los detalles de diseño reflejados en las prescripciones realizadas por los especialistas normalmente dejan a juicio del técnico ortoprotésico la elección de materiales y la disposición de los elementos constructivos. Por tanto, existe un terreno abonado para la introducción en el sector de una metodología objetiva que vaya complementando y sustituyendo paulatinamente las técnicas clásicamente utilizadas para la confección de ortesis plantares (pedígrafos de tinta, podoscopios, moldes sobre espumas, etc.).

El objetivo del presente estudio es la puesta a punto y validación de un protocolo clínico de valoración diagnóstica de cuadros sindrómicos algicos frecuentes en el pie y la evaluación del tratamiento ortésico prescrito para los mismos basado en el uso de un sistema de registro de presiones plantares desarrollado a tal efecto. La introducción de una nueva metodología de *valoración* de los resultados logrados con el tratamiento, por una parte, pone a disposición del especialista clínico información relevante que podrá adjuntar a la prescripción y, por otra, el técnico ortoprotésico va a poder realizar su trabajo ajustándose a las indicaciones objetivas reflejadas en la misma. Todo ello va a suponer un beneficio final para el paciente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo prospectivo es producto de la colaboración entre el Servicio de Rehabilitación del Hospital General de Requena, el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital General de Requena y el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV). Esta colaboración, ejemplo de la integración de conocimientos y recursos entre un servicio clínico asistencial y un centro de investigación en Biomecánica, fue iniciada en el año 1996 en el marco de un proyecto

del Plan Tecnológico Valenciano de Ciencia y Tecnología (expediente 951102276) y prosigue hoy en día.

Protocolo de valoración clínica

El protocolo de valoración clínica utilizado en el estudio consensuado entre el Instituto de Biomecánica de Valencia, el Servicio de Rehabilitación y el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital General de Requena consta de:

– *Ficha clínica*: En la que se recogen datos personales, motivo de la consulta, antecedentes diagnósticos y terapéuticos, diagnóstico clínico, consideraciones relativas a la patología presente, puntos de dolor y escalas gráficas subjetivas de cuantificación del dolor.

– *Pedigráfica* a pie descalzo del sujeto, para extraer información sobre la morfología de la huella plantar y

comparar los índices tradicionales con los parámetros obtenidos por el sistema de registro utilizado (plantilla instrumentada Biofoot/IBV).

– *Radiografía*: Si se considera necesario, se realiza una radiografía anteroposterior y otra lateral de ambos pies en carga con la plantilla instrumentada y un calzado especial de plastozote. Estas radiografías han sido utilizadas para optimizar la distribución de los sensores sobre la ortesis en la etapa de puesta a punto del estudio.

– *Registro de presiones en ambos pies*: Utilizando un calzado estándar de plastozote y a la cadencia habitual del sujeto se realiza un registro de marcha de ambos pies con el sistema Biofoot/IBV. Para ello, tras colocar las ortesis en el interior del calzado se hace caminar al sujeto durante un par de minutos por un circuito marcado sobre el suelo de la consulta (idas y vueltas por una línea recta de aproximadamente 5 metros). Una vez habituado el sujeto a las condiciones de ensayo, se realiza el registro de datos a una frecuencia de muestreo de 100 Hz y durante 4 segundos. En estas condiciones se efectúan tres repeticiones. De esta forma, en cada repetición se recogen entre 3 y 4 apoyos completos válidos de cada uno de los pies que son almacenados en ficheros independientes.

– *Escalas de valoración*: Escala de valoración funcional del pie¹ y escala analógica del dolor. La primera puede ser de tobillo-retropié, mediopié, dedo gordo o resto de dedos, debiendo seleccionarse la adecuada en cada caso. Se cumplimenta por el médico mediante un cuestionario donde cada aspecto valorado está puntuado según su importancia relativa, siendo la suma total de 100 puntos. Los aspectos evaluados son el dolor, la función y el alineamiento. El cuestionario proporciona un estado clínico más o menos favorable en función de la puntuación global obtenida. La escala analógica del dolor evalúa la percepción del dolor por parte del paciente, en una graduación de colores de cero (ausencia de dolor) a diez (dolor que el paciente considera como máximo posible).

Fig. 1.—Equipo Biofoot/IBV.

Sistema de medida BIOFOOT/IBV

El equipo básico de medida de la distribución dinámica de presiones plantares utilizado es Biofoot/IBV versión 4.0, que consta de:

– *Captadores de presiones (ortesis)*: 64 sensores discretos del tipo piezoeléctrico, de 5 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor con una distribución selectiva de los sensores sobre una base flexible de poliéster con los contactos serigrafados con tecnología multicapa. La distribución de sensores en la superficie de la ortesis se optimizó y verificó con ayuda de las pruebas radiográficas de validación durante la fase piloto de este estudio (fig. 1). En la figura 2 se observa, en un ejemplo de un caso real de un paciente con un *hallux valgus* intervenido, cómo las modificaciones realizadas en la distribución de sensores

Fig. 2.—Ejemplo de radiografía (pie izquierdo de un paciente con *hallux valgus* intervenido) a la que se han superpuesto la posición de los sensores del prototipo de ortesis (A) y el prototipo (B).

(A: prototipo inicial; B prototipo final) mejoran la resolución de medida en la región metatarsal.

– *Sistema de acondicionamiento de señales* Compuesto por una cadena de amplificadores de carga con una etapa de multiplexión que proporciona cuatro señales analógicas de salida por cada ortesis conectada. Todo el sistema está construido con tecnología de montaje superficial (SMD) y va alojado en una pequeña caja. Una cincha con Velcro® posibilita la sujeción de la caja al tobillo del paciente.

– *Sistema de adquisición de datos* Alojado en un ordenador personal tipo PC con una tarjeta de adquisición de 8 entradas analógicas diferenciales (las necesarias para conectar dos ortesis), que permite una frecuencia de muestreo máxima de 100 kHz. Dispone además de los *timers*, entradas y salidas digitales necesarias para el control del equipo.

– *Software* específico para el manejo del instrumento, que incluye un módulo de control en el que se configura la medida, un módulo de visualización de los datos registrados con diversas opciones gráficas (bi y tridimensional, isobaras, evolución del centro de presiones, numérica, de presiones máximas, de áreas, seriación de pisadas, etc.), un módulo de tratamiento donde se calculan parámetros de las medidas realizadas (presiones máximas por zonas, impulsos mecánicos, presiones medias, etc.) y por último, dos tipos de informes que facilitan la aplicación inmediata de los registros realizados: una ficha en tamaño real de la planta del pie con la imagen a color de las presiones máximas (a modo de pedigráfica dinámica) que permite localizar de forma rápida los puntos de interés para confeccionar una ortesis plantar o comprobar el efecto de una determinada ortesis plantar, y una ficha resumen de la gráfica y el instante de tiempo seleccionados junto con los datos del paciente, para documentar la medida realizada.

En la actualidad es posible realizar las medidas con una versión actualizada del equipo de ortesis que incorpora telemetría, evitando así el cableado del paciente al ordenador y facilitando el estudio.

Fases del estudio

En la tabla 1 se resumen las etapas en las que se dividió el estudio, el número de pacientes evaluados, el período

en el que fue desarrollado y los principales objetivos planteados.

En la etapa inicial de puesta a punto se realizaron pruebas y mejoras del prototipo de plantillas instrumentadas Biofoot/IBV utilizadas para la realización del estudio y se estableció un protocolo clínico de trabajo evaluado durante el estudio piloto y complementado posteriormente hasta convertirlo en rutina diaria de trabajo en la práctica clínica.

La *etapa clínica* de utilización fue iniciada en mayo de 1998 y sigue siendo aplicada en la actualidad. Durante los prácticamente 2 años de trabajo continuado con esta metodología no se ha modificado el procedimiento de trabajo.

La *selección de pacientes* por sintomatología ha sido realizada por personal facultativo del Servicio de Rehabilitación, de entre los que diariamente acuden a la consulta del mismo. Se escogen todos aquellos pacientes con patologías susceptibles de tratamiento conservador (principalmente metatarsalgias, talalgias y *Hallux valgus*), o pacientes post-quirúrgicos.

Se realiza un mínimo de dos sesiones de ensayo experimental por paciente seleccionado:

– *Valoración diagnóstica inicial (1.ª sesión)*. En la que se aplica el protocolo de valoración clínica ya especificado. Al finalizar la sesión de medida con Biofoot/IBV se imprime un registro de las presiones máximas registradas sobre un modelo de la planta del pie a escala 1:1. Sobre esta imagen, el médico especialista reseña aquellos aspectos relevantes relacionados con la prescripción de la ortesis plantar y se la entrega al paciente para que la lleve al taller de ortopedia donde se la vayan a confeccionar.

– *Segunda sesión de ensayo experimental*. En esta sesión se repite el registro de marcha, en este caso con la utilización de la ortesis plantar prescrita, y se vuelve a cumplimentar la escala de valoración clínica. Si fuese necesario, con la misma metodología descrita, se proponen modificaciones sobre la ortesis fabricada y se vuelve a citar al paciente para una nueva sesión.

Las ortesis ortopédicas prescritas son ortesis de descarga de zonas álgicas y/o de hiperpresión, en material viscoelástico; con o sin cuñas en retropié.

Los 12 pacientes que participaron en el estudio piloto completaron el protocolo descrito, con la salvedad de que a estos pacientes no se les facilitaba, junto con la

TABLA 1. Etapas en las que se dividió el estudio

<i>Etapas</i>	<i>Pacientes</i>	<i>Período</i>	<i>Principales objetivos</i>
1. Puesta a punto	20	10/1996 a 10/1997	Definición del protocolo de medida
2. Estudio piloto	12	10/1997 a 04/1998	Pruebas del protocolo
3. Experimental	66	05/1998 a 05/2000	Uso clínico del equipo de medida

prescripción a entregar en la ortopedia, la copia impresa del registro de presiones máximas con las anotaciones aclaratorias del médico. De los 66 pertenecientes al grupo

experimental: 6 no asistieron a la segunda sesión, 5 recibieron finalmente tratamiento distinto al de ortesis ortopédicas, 2 fueron remitidos a cirugía y 5 no habían finalizado el tratamiento en el momento de recogida de los datos finales. De esta forma, sólo 48 pacientes completaron la etapa experimental.

Análisis y tratamiento de datos

Para el análisis de los datos de presiones proporcionados por las plantillas instrumentadas se divide la planta del pie en 13 regiones (fig 3), a las que se asocian los sensores correspondientes. La finalidad de este elevado número de divisiones es poder identificar diferencias en el interior de regiones anatómicas, sobre todo en el talón y en la región metatarsal-falángica. La nomenclatura utilizada para designar las distintas zonas es la siguiente:

- ADG, ARD: Dedo gordo, Piesto de dedos
- A1M...A5M: Cabezas metatarsianas 1ª a 5ª
- ARC: Apoyo retrocapital
- MI, ME: Mediopié interno/externo
- RI, RC, RE: Retropié interno/centro/externo

De cada una de las tres repeticiones realizadas en cada pie se seleccionan dos pisadas válidas. De las seis pisadas resultantes se descartan aquellas que presenten un tiempo de apoyo con una variación superior al 10% de la media.

En las zonas de trabajo definidas se calculan los siguientes parámetros: Tiempo de Apoyo (TA), Cadencia (CAD), Presión Media máxima por Zona normalizada por la presión media global (PMED), Presión Máxima por Zona (PMAZ), Impulso de la Presión Media (IPMED), Relación de Impulsos entre retropié y antepié (RAT). En

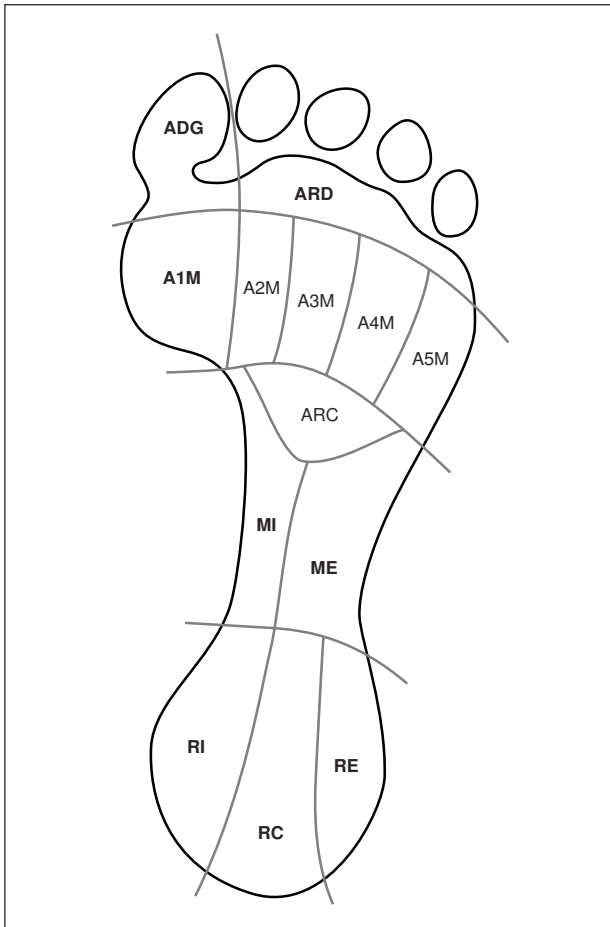


Fig. 3.—Zonas de estudio.

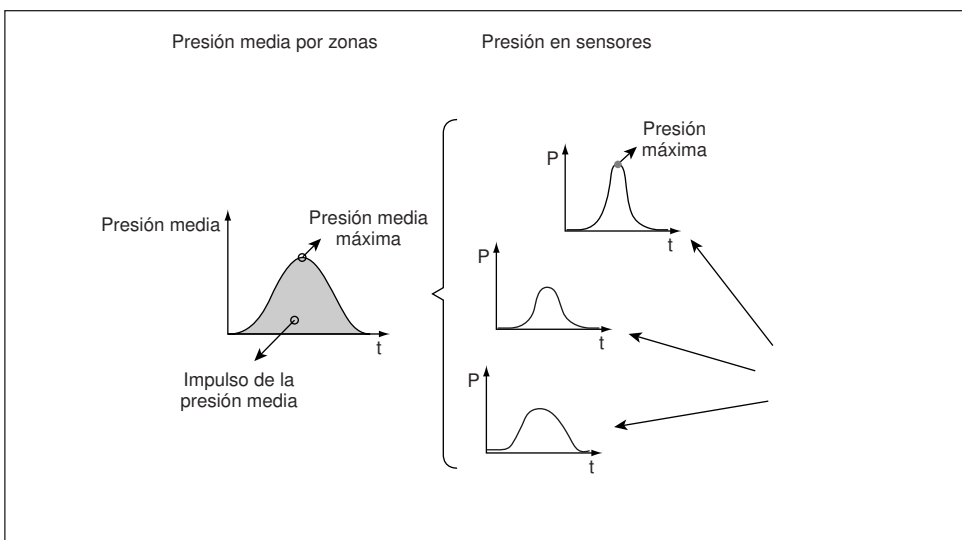


Fig. 4.—Proceso de cálculo de los parámetros utilizados por sensor y por zona.

la figura 4 se indica el proceso de cálculo utilizado para la obtención de los mismos.

Las variables de agrupación de datos utilizadas son: Grupo de pacientes al que pertenecen los datos, piloto o experimental (ETAPA), Sesión a la que pertenecen los datos registrados, diagnóstica inicial o de evaluación tras tratamiento (SESION).

Los métodos de análisis estadístico aplicados son los siguientes:

- Análisis de conglomerados jerárquicos de la presión registrada en las cabezas metatarsianas y en el talón en pacientes con metatarsalgia para la identificación de patrones de distribución de presión característicos en ambas regiones.

- Análisis exploratorio de datos mediante tablas de contingencia y regresión logística para determinar, por un lado, el grado de correlación entre patrones de distribución de presiones y la existencia de dolor, y por otro, mediante el método de selección por pasos de variables, el conjunto de variables que mejor predicen la presencia/ausencia de dolor en cada cabeza metatarsiana.

- Análisis multivariante de medidas repetidas para examinar qué variables registradas sufren variaciones significativas tras la aplicación del tratamiento conservador.

RESULTADOS

A lo largo del trabajo se han evaluado 98 pacientes en varias etapas. En la tabla 2 se resumen las principales características antropométricas de esta muestra, indicando el sexo, la edad y el peso de los pacientes evaluados en la etapa piloto y en la experimental (no se incluyen los datos de la etapa de puesta a punto).

Aproximadamente el 75 % de consultas tienen su origen en metatarsalgias asociadas o no a otras patologías como talalgias y *Hallux valgus*, por tanto, será en este tipo de dolencia donde se centra el análisis de los datos

registrados. Dado que no se dispone de pacientes varones en el grupo piloto y que el número de varones en el grupo experimental es pequeño, los análisis de datos se restringirán al grupo de mujeres.

Escala funcional

La herramienta de validación de resultados utilizada ha sido la escala funcional del pie de Kitaoka et al¹. En la tabla 3 se resumen los resultados obtenidos con esta escala de valoración en las dos etapas en que se dividió el estudio.

En primer lugar, el valor medio de la escala clínica en la sesión diagnóstica inicial (60 ± 20) es lógico dado que se trata de pacientes que acuden al médico rehabilitador por dolor invalidante. Por otra parte, no existen diferencias de este valor entre las dos etapas del estudio, lo que nos posibilita, pese a la desigualdad del tamaño de la muestra (12 frente a 67 pacientes), realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en dichas etapas.

Se observa un espectacular aumento del número de casos con resultados de evolución clínica positivos (50 % en el grupo piloto frente al 90 % en el grupo experimental). Sin embargo, un análisis de la varianza de la evolución de la escala funcional entre los pacientes con valoración final positiva del grupo piloto y del grupo experimental, permite descartar la existencia de diferencias significativas ($F = 2,08$; $p > 0,15$) en la evolución de dicha escala entre las dos etapas del estudio. Es decir, se incrementa considerablemente el porcentaje de casos con evolución positiva, pero no se produce una mejor valoración funcional de los casos que evolucionan positivamente entre ambos grupos.

TABLA 2. Características antropométricas de la muestra en estudio

Etapa	Nº	Sexo	Edad	Peso (kg)	Talla (m)
Estudio piloto	12	M 100 %	$50,1 \pm 12,3$	$68,0 \pm 8,3$	$1,56 \pm 0,08$
Experimental	66	M 74 %	$52,6 \pm 16,1$	$71,7 \pm 14,7$	$1,58 \pm 0,11$

TABLA 3. Evolución de la escala funcional de valoración utilizada. Se consideran casos válidos aquellos que completaron el tratamiento y casos con evolución positiva aquellos que resultan con una puntuación superior a la obtenida durante la primera sesión de valoración diagnóstica

Etapa	Nº	Válidos	Valoración sesión diagnóstica	Casos con evolución positiva	Valoración final de los positivos
Estudio piloto	12	12	$60,2 \pm 20,2$	6 (50 %)	78,8
Experimental	67	48	$59,2 \pm 19,2$	45 (90 %)	79,7

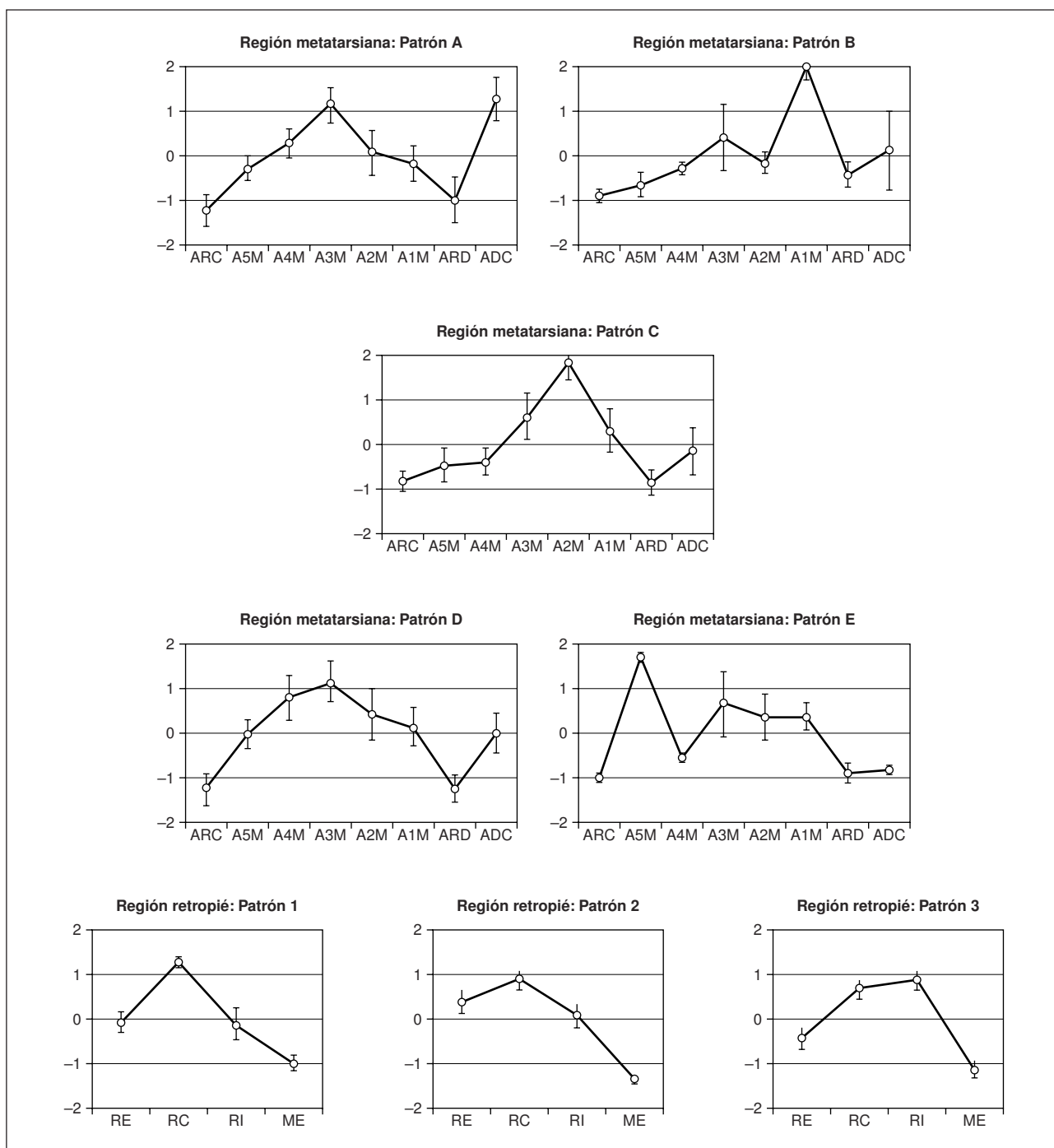


Fig. 5.—Patrones de distribución de PMED en la región metatarsiana (PATRONMETA) - A (18%), B (11%), C (37%), D (29%), E (5%) - y en la región del retropié (PATRONTALON) - Patrón 1 (34%), 2 (29%), 3 (37%) -.

Metatarsalgias: patrones de distribución de presiones

El análisis de los datos que se presenta a continuación se ha centrado en la patología más común, metatarsalgia acompañada o no de *hallux valgus* de dolor localizado

en el talón, excluyendo del análisis los datos correspondientes a otras patologías.

Mediante un análisis de conglomerados jerárquicos del patrón de presiones de las regiones metatarsiana y del talón correspondientes a la sesión diagnóstica inicial, se han intentado identificar, respectivamente, cinco y tres

grupos de patrones de distribución de presiones de los casos analizados con las siguientes consideraciones:

– Se han seleccionado tres patrones de búsqueda en la región del talón (PATRON TALON) con objeto de identificar apoyos centrales, externos e internos (fig. 5).

– Se han elegido cinco patrones de búsqueda (fig. 5) en la región metatarsiana (PATRON META) con objeto de identificar patrones de apoyo con predominio de carga externo (5º metatarsiano), central (3º metatarsiano), en 2º, en 1º y en dedo gordo. Welton¹⁸ encuentra hasta seis patrones de apoyo metatarsal mientras que Miyahara¹⁹ únicamente distingue tres tipos.

– Se ha utilizado la variable máximo de la presión media PMED reescalada con puntuaciones Z (media 0 y desviación 1) para las zonas incluidas en cada una de las regiones mencionadas: región metatarsiana (ARC, A5M, A4M, A3M, A2M, A1M, ARD y ADG) y región del retropié (RE, RC, IR y ME).

– Para efectuar el análisis, se ha seleccionado únicamente el pie más afectado de cada paciente con objeto de evitar incluir patrones dependientes como son los del pie derecho e izquierdo de cada paciente.

Metatarsalgias: correlación entre patrones y dolor

Una vez obtenidos los cinco patrones de distribución de presiones en la región metatarsiana, se ha tratado de comprobar en qué medida estos patrones están relacionados con la localización de dolor en las diferentes cabezas metatarsianas. Para ello, en primer lugar, se ha realizado un análisis exploratorio de los datos mediante tablas de contingencia. La prueba resulta significativa ($\chi^2 < 0,001$) en las cabezas metatarsianas primera y quinta, lo que indica que existe relación entre el dolor y el patrón, no resultándolo en las cabezas metatarsianas centrales.

Con objeto de explicar estas relaciones con mayor detalle, se ha realizado una regresión logística tomando

como variable dependiente, la presencia o ausencia de dolor en cada una de las cabezas metatarsianas y, como variables independientes, los patrones de presiones obtenidos para cada pie y el valor obtenido con la escala clínica funcional en la primera sesión de medida. Los resultados resumidos se presentan en la tabla 4.

Se observa un mayor porcentaje de aciertos global en la predicción de la ausencia/presencia de dolor en las cabezas metatarsianas primera y quinta, corroborando los resultados de la prueba anterior.

Si en lugar de tomar como variables independientes los patrones y el valor de la escala clínica inicial, escogemos las presiones medias en cada una de las zonas y repetimos la regresión podremos identificar el conjunto de variables que mejor predicen la presencia/ausencia de dolor en cada cabeza metatarsiana. Utilizando el *método de selección por pasos* de las variables a introducir en el modelo, obtenemos los resultados de la tabla 5.

En las dos regresiones realizadas el porcentaje de aciertos es similar, aunque el ajuste del modelo es mucho mejor con la segunda aproximación. Además, este último método nos permite identificar los parámetros significativos relacionados con el dolor.

TABLA 4. Porcentaje de aciertos con el modelo de regresión logística en la predicción de dolor en las diferentes cabezas metatarsianas utilizando como variables independientes los patrones de presión estimados mediante conglomerados jerárquicos

Cabeza metatarsiana	Ajuste del modelo (a)	Ausencia dolor (%)	Presencia dolor (%)	Global (%)
Primera	0,02	96,9	50,0	89,5
Segunda	0,16	52,6	84,2	68,4
Tercera	0,03	68,4	63,2	65,8
Cuarta	0,32	100,0	15,4	71,1
Quinta	0,001	96,9	80,0	94,7
Total		83,0	58,6	77,9

TABLA 5. Porcentaje de aciertos con el modelo de regresión logística en la predicción de dolor en las diferentes cabezas metatarsianas utilizando como variables independientes las presiones medias en las zonas de estudio. (PMED Presión Media máxima por Zona normalizada por la presión media global)

Cabeza metatarsiana	Ajuste del modelo (a)	Ausencia dolor (%)	Presencia dolor (%)	Global (%)	Variables elegidas
Primera	0,03	96,9	33,3	86,8	PMED en Cabeza 1ª meta
Segunda	0,004	78,9	52,6	65,8	PMED en Cabeza 2ª meta
Tercera	0,0003	84,2	68,4	76,3	PMED en Mediopié Externo, Cabeza 1ª meta y Dedo Gordo
Cuarta	0,02	84	38,5	68,4	PMED en región Retrocapital
Quinta	0,01	97,0	40,0	89,5	PMED en Cabeza 5ª meta y en Mediopié interno
Total		88,2	46,6	77,4	

Se observa un elevado número de aciertos en cuanto a la ausencia de dolor, pero ningún modelo es capaz de pronosticar la presencia de dolor para un paciente en un punto determinado en función de las presiones medias o de los patrones presentes.

Metatarsalgias: evaluación del tratamiento

El tratamiento ortopédico empleado, en todos los casos evaluados, ha consistido en la prescripción de ortesis plantares de descarga retrocapital de las cabezas metatarsianas dolorosas, con o sin arco medial, con o sin barra retrocapital y con o sin cuña pronadora de retropié.

Con objeto de analizar qué variables registradas sufren variaciones significativas tras la aplicación del tratamiento

conservador se ha realizado un análisis de la varianza multivariante de medidas repetidas²⁰. Se han analizado las interacciones del factor intra-sujetos sesión de medida (diagnóstica inicial y de evaluación tras tratamiento ortopédico) con los 5 patrones de la región metatarsiana, los 3 patrones de la región del talón y la pertenencia al grupo piloto o experimental, excluyendo las interacciones de orden superior por carecer de significado clínico.

El análisis multivariante muestra que, en conjunto, tanto el factor intra-sujetos sesión de medida (SESION) como la interacción de la sesión de medida con los patrones de carga de la región metatarsiana (SESION*PATRONMETA) resultan significativos ($p < 0,005$) para explicar la evolución de los pacientes, objetivada mediante las diferencias de presiones tras el tratamiento ortopédico; mientras que las interacciones de la sesión de medida con los patrones de

TABLA 6. Resultados de las pruebas de contrastes univariados intra-sujetos. En las interacciones únicamente se han reflejado aquellas variables que resultan significativas ($< 0,05$) en el análisis

Fuente	Variable	Descripción	F	Sig.
SESION				
	TA	Tiempo de Apoyo	7,56	0,010
	RAT	Ratio impulsos retropié-antepié	9,05	0,005
	RE	PMED en Retropié Externo	2,68	0,112
	RC	PMED en Retropié Centro	12,06	0,002
	RI	PMED en Retropié Interno	9,89	0,004
	ME	PMED en Mediopié Externo	1,13	0,296
	MI	PMED en Mediopié Interno	14,28	0,001
	ARC	PMED en región Retrocapital	27,50	0,000
	A5M	PMED en Cabeza 5ª meta	12,54	0,001
	A4M	PMED en Cabeza 4ª meta	1,09	0,304
	A3M	PMED en Cabeza 3ª meta	3,18	0,085
	A2M	PMED en Cabeza 2ª meta	4,85	0,035
	A1M	PMED en Cabeza 1ª meta	3,35	0,077
	ARD	PMED en Resto de dedos	3,11	0,088
	ADG	PMED en Dedo Gordo	3,87	0,058
SESION*PATRONMETA				
	RC	PMED en Retropié Centro	2,72	0,048
	ME	PMED en Mediopié Externo	2,88	0,039
	A5M	PMED en Cabeza 5ª meta	8,75	0,000
	A4M	PMED en Cabeza 4ª meta	3,32	0,023
	A3M	PMED en Cabeza 3ª meta	4,53	0,006
	A2M	PMED en Cabeza 2ª meta	2,76	0,046
SESION*PATRONTALON				
	TA	Tiempo de Apoyo	3,34	0,049
	RE	PMED en Retropié Externo	5,51	0,009
	RI	PMED en Retropié Interno	10,40	0,000
	ARD	PMED en Resto de dedos	4,80	0,015
SESION*ETAPA				
	RAT	Ratio impulsos retropié-antepié	7,60	0,010
	A4M	PMED en Cabeza 4ª meta	5,79	0,022
	A3M	PMED en Cabeza 3ª meta	3,96	0,056

SESION: Sesión a la que pertenecen los datos registrados, diagnóstica inicial o de evaluación tras tratamiento, PATRONMETA: Patrones de distribución de presiones en región metatarsiana, PATRONTALON: Patrones de distribución de presiones en región de talón, ETAPA: Grupo de pacientes al que pertenecen los datos, piloto o experimental, PMED: Presión Media máxima por Zona normalizada por la presión media global.

talón ($SESION \times PATRONTALON$ $p > 0,06$) y con la etapa de estudio ($SESION \times ETAPA$ $p > 0,2$) no lo son.

Los resultados obtenidos (tabla 6) son coherentes con el efecto esperado de las ortesis ortopédicas; el factor sesión de medida ($SESION$) explica las modificaciones introducidas por el tratamiento que son comunes a todos los patrones de carga, mientras que las interacciones con los patrones de carga de antepié ($PATRONMETA$) y retropié ($PATRONTALON$) justifican las variaciones específicas de cada uno de los patrones.

Por último, la interacción de la sesión de medida ($SESION$) con la etapa de estudio ($ETAPA$) recoge las principales diferencias evolutivas entre los sujetos tratados en las etapas piloto y experimental. En la figura 6 se representa la evolución de la variable más significativa en esta interacción (RAT : proporción de impulsos de las presiones medias entre el retropié y el antepié) entre sesiones (diagnóstica y de evaluación) y entre etapas del estudio (piloto y experimental). Se observa que mientras se produce una reducción significativa de esta variable en los sujetos evaluados durante la etapa experimental, lo que implica una mayor proporción de carga en la región de antepié respecto a la de retropié con el uso de la ortesis plantar, no existen diferencias significativas en la evolución de los sujetos pertenecientes al grupo piloto.

DISCUSIÓN

El estudio se ha centrado en el grupo de mujeres con metatarsalgia asociadas o no a otras patologías como talalgias y *Hallux valgus*. Se trata de cuadro sindrómico que se manifiesta esencialmente en mujeres, lo que concuerda con los datos descritos por Viladot¹⁶ que encontró una prevalencia del 88,5% en mujeres. En cualquier caso, Luger et al¹⁷ en un estudio sobre patrones de distribución de presiones en la región metatarsiana con 360 pacientes (161 mujeres y 199 hombres) no encontraron diferencias significativas atribuibles al sexo.

En primer lugar, cabe destacar los resultados obtenidos en cuanto a la evolución positiva de los pacientes. Prácticamente la totalidad (90%) de los pacientes evaluados durante la fase experimental que condujeron el tratamiento presentan una mejoría, reflejada por la escala clínica, coincidiendo con la puesta en marcha del protocolo clínico de trabajo en su totalidad. Las únicas diferencias con respecto al protocolo seguido en la fase piloto fueron:

- A los pacientes del grupo experimental se les adjunta a la prescripción médica de la ortesis plantar un registro impreso de presiones máximas a escala real; registro que entregan en el taller de ortopedia que les confecciona la ortesis plantar.

- Los pacientes del grupo piloto y los del grupo experimental se citaron tras la prescripción de las ortesis

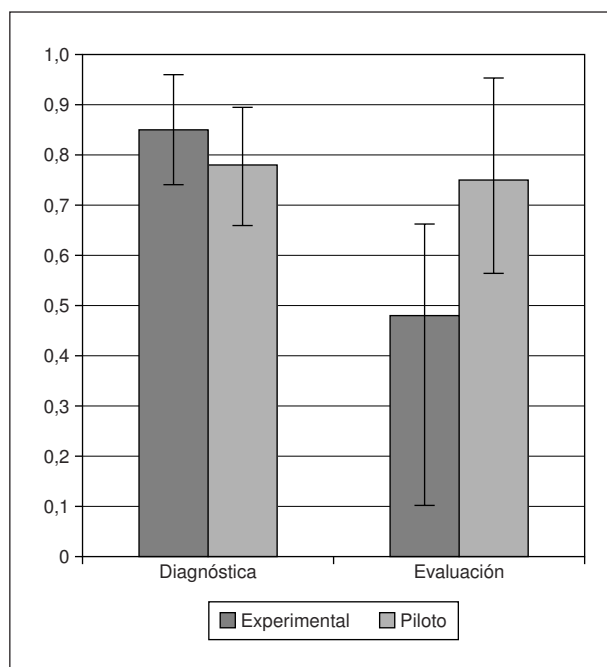


Fig. 6.—Evolución de la variable RAT en las etapas piloto y experimental.

plantares hasta que se apreció mejoría clínica (menor dolor o ausencia de dolor, usando las ortesis prescritas) indicando las correcciones oportunas al taller de ortopedia.

No cabe plantearse la influencia en los resultados del efecto placebo, pues la instrumentación utilizada y la práctica totalidad del protocolo clínico de medida en ambas fases del estudio son idénticas.

Por todo ello, pensamos que el éxito obtenido es atribuible, por una parte, a la apertura de un canal objetivo de comunicación entre el especialista y el taller de ortopedia encargado de confeccionar las ortesis y, por otra, a la utilización de un instrumento de valoración cuantitativa por parte del especialista clínico que le posibilita objetivar de forma inmediata los resultados alcanzados.

Debemos recalcar que la mejora lograda se produce en el número de casos con evolución positiva, del 50% al 90%, no así en el grado de mejora de los pacientes que evolucionan positivamente, donde no existen diferencias significativas entre los dos grupos. Es decir, cuando la confección de la ortesis por parte del taller de ortopedia se adecua a las necesidades del paciente, la mejoría experimentada por éstos es similar.

Por otra parte, se han conseguido identificar diferentes patrones de distribución de presiones en los pacientes evaluados durante la sesión diagnóstica, tanto en la región metatarsiana como en la región del talón, que no posibilitan predecir la presencia/ausencia de dolor en las

cabezas metatarsianas con suficiente fiabilidad (83%/59%), pero que creemos constituye una clave clínica para el tratamiento específico del pie en la que debe profundizarse²¹.

La falta de fiabilidad de los patrones en la predicción del dolor no resulta sorprendente ya que el patrón de distribución de presiones plantar adoptado por un sujeto determinado puede representar tanto la sobrecarga, en una fase aguda, de las zonas dolorosas como la compensación del resto de zonas para disminuir la carga en una región en particular.

Esto último queda reforzado por la regresión logística realizada, utilizando como predictores del dolor las presiones medias máximas en la región metatarsiana, donde el porcentaje de aciertos es también insuficiente (88%/47%), similar al obtenido empleando los patrones como posibles predictores.

Además, cabe señalar que parte de los pacientes evaluados presentan *Hallux valgus* lo que según Beverly et al²² ocasiona un incremento de las presiones sobre la segunda y tercera cabezas metatarsianas, o según Tang y Wallace²³ sobre la primera y segunda. Ello incrementa la dificultad de encontrar correlaciones entre los patrones y el dolor.

En cambio, el uso de los patrones de distribución de presiones identificados ha contribuido a explicar las variaciones significativas de presiones ocurridas tras la aplicación del tratamiento. La interacción *SESION*PATRONMETA* es significativa en todas las cabezas metatarsianas excepto la primera, mientras que la interacción *SESION*PATRON TALON* lo es en las regiones interna y externa del retropié. Es decir, existen diferencias significativas en la evolución seguida dependiendo del patrón de carga que tenía el paciente, lo que corrobora la importancia clínica de este hallazgo.

Los resultados obtenidos sobre estos patrones de presión en la región metatarsiana concuerdan con los de Luger et al¹⁷ en relación a la inexistencia de un arco transversal dinámico de sustentación a nivel de las cabezas metatarsianas. Ninguno de los cinco patrones presentados puede justificar la presencia de este arco.

Por último, con el objeto de tratar de encontrar las razones objetivas que justifiquen las diferencias entre el porcentaje de casos con evolución positiva entre ambas etapas del estudio nos centraremos en el análisis de la evolución de la proporción de impulsos de las presiones medias entre el retropié y el antepié (RAT). La principal diferencia encontrada entre los sujetos del grupo piloto y los del experimental es que en los primeros no se ha logrado alterar la proporción de carga entre antepié y retropié con el uso de ortesis ortopédicas. En ambos grupos la proporción de carga soportada por el retropié durante la sesión diagnóstica es elevada (lo que creemos que es debido a la estrategia antiálgica de marcha adoptada), pero sólo los pacientes del grupo experimental

ven reducida significativamente esta relación de cargas (logran apoyar el antepié de forma más fisiológica).

CONCLUSIONES

En el ámbito clínico se ha puesto a punto un protocolo de evaluación de pacientes con patologías susceptibles de tratamiento conservador durante la práctica clínica diaria basado en el uso de las plantillas instrumentadas. Ello ha supuesto, por un lado, una asistencia efectiva a la labor diagnóstica de los especialistas: en el estudio realizado en pacientes con metatarsalgia se han identificado diferentes patrones de distribución de presiones plantares tanto en la región metatarsiana como en la región del talón que, aunque no posibilitan predecir la presencia/ausencia de dolor en las cabezas metatarsianas con suficiente fiabilidad (83%/59%), permiten evidenciar diferencias en la evolución seguida tras el tratamiento, lo cual tiene una transcendencia clínica incontestable.

Y, por otro lado, ha supuesto la apertura de un canal objetivo de comunicación entre especialistas clínicos y técnicos ortoprotésicos. La inclusión de un registro de presiones dinámicas máximas en la prescripción médica de la ortesis a fabricar por el taller de ortopedia, produce un aumento significativo, del 50 % al 90 %, de los pacientes que experimentan una mejora con el tratamiento. O lo que es lo mismo, el 90 % de las ortesis ortopédicas confeccionadas siguiendo los criterios objetivos proporcionados por el equipo de medida, bajo las indicaciones del especialista clínico, constituye un tratamiento efectivo de la metatarsalgia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kitaoka HD, Alexander IA, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, Hallux, and lesser toes. *Foot Ankle* 1994;15: 349-52.
2. Alexander IJ, Chao EYS, Johnson K.A. The Assessment of Dynamic Foot-to-Ground Contact Forces and Plantar Pressure Distribution: A Review of the Evolution of Current Techniques and Clinical Applications. *Foot Ankle* 1990;11:152-67.
3. Cavanagh PR, Ulbrecht JS. Plantar pressure in the diabetic foot. En: Editor Sammarco GJ. *The foot in Diabetes*, Philadelphia: Lea & Febiger; 1991; p. 54-71.
4. Cierckeko GC, Dhanendram M, Hutton WC, Le Quesne LP. Vertical forces acting on the feet of diabetic patients with neuropathic ulceration. *Br J Surg* 1981;68: 608-14.
5. Boulton AJM, Hardisty CA, Betts RP, Franks CI, Worth RC, Ward JD, Duckworth T. Dynamic foot pressure and other studies as diagnostic and management aids in diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 1983;6:26-33.
6. Duckworth T, Boulton JM, Betts RP, Franks CI, Ward JD. Plantar pressure measurements and the prevention of ulce-

- ration in the diabetic foot. *J Bone Joint Surg Br* 1985; 67:79-85.
7. Soames RW, Carter PG. Barefoot walking observations on normal and arthritic subjects. *J Anat* 1981;133:682.
 8. Clayton ML, Ries MD. Functional hallux rigidus in the rheumatoid foot. *Br JSurg* 1991;68:608-14.
 9. Minns RJ, Craxford AD. Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis. *Clin Orthop* 1984;184:235-42.
 10. Stockley I, Betts RP, Rowley D, Getty C, J Duckworth T. The importance of the valgus hindfoot in forefoot surgery in rheumatoid arthritis. *JBone Joint Surg* 1990;(72B):705-8.
 11. Stokes IAF, Hutton WC, Stott JRR, Lowe LW. Force distribution under the hallux valgus foot before and after surgery. *Clin Orthop Rel Res* 1979;142:64-72.
 12. Hutton W.C. y Dhanendram M. The mechanics of normal and hallux valgus feet; a quantitative study. *Clin Orthop* 1981;157:7-13.
 13. Katoh Y, Chao EYS, Morrey BF, Laughman RK. Objective technique for evaluating painful heel syndrome and its treatment. *Foot Ankle* 1983;3:227-37.
 14. Rochera R, Leal V, Pi J Consideraciones sobre el pie cavo valgus. En: Edición Minerva Medica. Actualités de médecine et de Chirurgie du pied. Tomo XII, 1982; p. 117-28.
 15. Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty two feet in normal children and adults. *JBone Joint Surg* 1987;(69A):426-28.
 16. Viladot A. Diez lecciones sobre patología del pie. Barcelona: Toray, 1979.
 17. Luger EJ, Nissan M, Karpf A, Steinberg EL, Dekel S. Patterns of weight distribution under the metatarsal heads. *JBone Joint Surg Br* 1999;81:199-202.
 18. Welton EA. The Harris and Beath footprint: Interpretation and clinical value. *Foot Ankle* 1992;13:462-8.
 19. Miyahara K. Pressure distribution on the sole in normal adult men during walking using the ANIMA-G2800 for recording. *Jpn Orthop Assoc* 1993;67:449-62.
 20. Soler-Gracia C. Registro dinámico de la distribución de presiones plantares: Diseño y desarrollo de un nuevo sistema de medida. Evaluación de su potencial de aplicación clínica e industrial. Instituto de Biomecánica de Valencia; Tesis Doctoral, Valencia; 2001.
 21. Anderson EG, Harrison D. Foot pressure patterns in normal feet. *Ann R Coll Surg Engl* 1988;70:176-7.
 22. Beverly MC, Horan FT, Hutton WC. Load cell analysis following silastic arthroplasty of the hallux. *Int. Orthopaedics (SCOT)* 1985;9:101-104.
 23. Tang G, Wallace WA. Forefoot pressure measurement in the foot with hallux valgus. *JBone Joint Surg* 1992;74B (Sup 3):262.

Correspondencia:

A. Martínez Assucena
Servicio de Rehabilitación
Hospital General de Requena
Pje. Casablanca, s/n
46340 Requena. Valencia