



ORIGINAL

Artículo bilingüe español/inglés

Rev Esp Podol. 2022;33(1):21-28

DOI: 10.20986/revesppod.2022.1627/2021

## Variación baropodométrica con la pérdida de peso: un estudio experimental

*Baropodometric variation with weight loss: an experimental study*

Carla Lanuza-Cerzócimo<sup>1,2</sup>, Javier Alfaro-Santafé<sup>1,2</sup>, Alejandro Jesús Almenar-Arasanz<sup>2</sup>, José V. Alfaro-Santafé<sup>1,2</sup>, Aitor Pérez-Morcillo<sup>2</sup> y Antonio Gómez-Bernal<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Cataluña. Manresa, Barcelona, España. <sup>2</sup>Departamento de Investigación. Podoactiva. Huesca, España

### Palabras clave:

Estática, dinámica, desequilibrio postural, presión, obesidad, presiones plantares, podobarometría

### Keywords:

Static, dynamic, postural imbalance, pressure, obesity, plantar pressures, baropodometry

### Resumen

**Objetivos:** Uno de los principales problemas de salud pública del siglo XXI es la obesidad. La baropodometría se utiliza habitualmente para determinar las cargas específicas sobre la superficie plantar del pie y el comportamiento del centro de presión corporal (CoP). El objetivo de la presente investigación fue evaluar la redistribución de los parámetros baropodométricos: presiones plantares estáticas y dinámicas y CoP anteroposterior, al disminuir el peso corporal.

**Pacientes y métodos:** Una muestra de 43 sujetos (24 hombres y 19 mujeres) participaron en el estudio. Se diseñó una dieta hipocalórica con el objetivo de reducir su peso corporal. El examen baropodométrico se realizó en dos ocasiones: peso 1 - Sesión 1 y peso 2 - Sesión 2, cuando habían perdido entre 12 y 18 kg. El pie se dividió en 9 zonas: talón, mediopié, 5 cabezas metatarsales (MTH), hallux, 2-5 dedos. Se utilizó la plataforma de presión Footwork® para realizar la evaluación.

**Resultados:** Los sujetos reducen un 11.59 % su peso medio. La disminución de la presión del pie fue estadísticamente significativa entre la primera y la segunda medición ( $p < 0.05$ ). Para la estática en el Hallux, 2.º MTH, 3.º MTH, 5.º MTH y talón, mientras que para la dinámica la presión disminuye en todas las zonas de estudio excepto en el 2.º y 5.º dedo. Para el CoP se observó un notable desplazamiento posterior. No hubo diferencias de género.

**Conclusiones:** Podemos concluir que la pérdida de peso afectó positivamente tanto a las presiones plantares como al CoP, ya que se observaron cambios estadísticamente significativos en los parámetros baropodométricos entre los dos momentos estudiados.

### Abstract

**Objective:** One of the major public health problems of the 21<sup>st</sup> century is obesity. Baropodometry is commonly used to determine specific loads on the plantar surface of the foot and the behaviour of the body center of pressure (CoP). The aim of the present investigation was to evaluate the redistribution of the baropodometric parameters: static and dynamic plantar pressures and anteroposterior CoP, as body weight decreased.

**Patients and methods:** A sample of 43 subjects (24 male, 19 female) participated in the study. A hypocaloric diet was designed with the aim to reduce their body weight. The baropodometric exam was performed in two occasions: weight 1 – Session 1 and weight 2 – Session 2, when they had lost between 12 and 18 kg. The foot was divided in 9 areas: heel, midfoot, 5 metatarsal heads (MTHs), Hallux, 2-5 toes. The Footwork® pressure platform was used to carry out the evaluation.

**Results:** Subjects reduce an 11.59 % their mean weight. Foot pressure decrease was statistically significant between the first and second measurements ( $p < 0.05$ ). For the static on the Hallux, 2<sup>nd</sup> MTH, 3<sup>rd</sup> MTH, 5<sup>th</sup> MTH and heel, while for the dynamic the pressure decreases on the whole study areas except on the 2<sup>nd</sup> and 5<sup>th</sup> toes. For the CoP, a notable posterior displacement was observed. There were no gender differences.

**Conclusions:** We can conclude that weight loss affected positively to both plantar pressures and CoP, since statistically significant changes were observed in the baropodometric parameters between the two times studied.

Recibido: 22-12-2021

Aceptado: 08-02-2022



0210-1238 © Los autores. 2022.  
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.  
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Reconocimiento 4.0 Internacional  
([www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/](http://www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Correspondencia:

Antonio Gómez-Bernal  
antoniogomez@podoactiva.com

## Introducción

La obesidad es uno de los principales problemas de salud pública del siglo XXI y su prevalencia se ha triplicado en muchos países europeos en las últimas décadas<sup>1</sup>. Es un problema fuertemente asociado con una menor calidad de vida, así como con el desarrollo de graves patologías crónicas metabólicas, cardíacas y circulatorias y trastornos musculoesqueléticos<sup>2,3</sup>. Los datos cuantitativos han demostrado que el peso corporal excesivo afecta negativamente a la bipedestación y a la marcha<sup>4,5</sup>. La medición de la presión plantar se utiliza habitualmente para determinar las cargas específicas en la superficie plantar del pie. Hay muchos estudios de casos que evalúan las presiones del pie normal e intentan establecer patrones de presiones patológicas<sup>6</sup>. El centro de presiones (CoP) representa el promedio de todo el peso que está en contacto con la superficie del suelo y se expresa como el punto donde se encuentra el vector de las fuerzas de reacción vertical del suelo<sup>6,7</sup>.

En la literatura se puede encontrar cómo el peso corporal influye en los datos de la presión plantar y en la posición del CoP<sup>8-10</sup>. El exceso de peso corporal ha demostrado tener consecuencias estructurales negativas en los pies y miembros inferiores, aumenta las posibilidades de padecer fascitis plantar o artrosis de rodilla entre otras<sup>11-14</sup>. La obesidad también se relaciona con un desplazamiento anterior del CoP<sup>15</sup>, ya que la inestabilidad en personas obesas, asociada al aumento de peso, parece ser determinante con el CoP en posición anterior<sup>16</sup>.

La baropodometría computarizada (medición de la presión plantar) es útil para el diagnóstico de las enfermedades del pie, la evaluación de la función del pie y el seguimiento del tratamiento. Se ha practicado para determinar parámetros específicos del peso en adultos obesos, entre otros<sup>10,14</sup>. Sin embargo, no existen en la literatura estudios específicos que hayan analizado mediante baropodometría computarizada cómo mejoran las presiones plantares y el CoP al disminuir el peso corporal en adultos obesos.

Por ello, con este estudio pretendemos evaluar la mejora de las presiones plantares y del CoP antero-posterior al disminuir el peso corporal en la toma de datos de baropodometría estática y dinámica en adultos obesos.

## Pacientes y métodos

### Diseño del estudio

Entre junio de 2009 y diciembre de 2009, realizamos un estudio experimental controlado, el cual fue diseñado para investigar si una disminución del peso corporal en personas obesas conlleva una variación en las presiones plantares y del CoP antero-posterior, a través de una intervención controlada en un periodo de tiempo concreto cuyo objetivo es conseguir esa disminución del peso corporal total de cada individuo. Los participantes escogidos para el protocolo, en concreto, en 43 adultos con obesidad diagnosticada, debían presentarse en dos ocasiones a la clínica. La primera de ellas (Sesión 1) los participantes fueron evaluados por el médico endocrino y por el podólogo antes de la intervención, y en la segunda ocasión (Sesión 2) los participantes fueron de nuevo evaluados tras la intervención de pérdida de peso por el mismo equipo. El diseño de la presente investigación se basó y ejecutó según la guía de reporte CONSORT.

### Participantes

Los participantes fueron reclutados en una clínica privada de Endocrinología y Nutrición de Huesca, España. Fueron reclutados 52 sujetos, de los cuales 5 fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión. Al inicio de la investigación se partió de 47 participantes, de los cuales 4 no pudieron ser contactados de nuevo. Finalmente, el estudio se realizó sobre una muestra de 43 pacientes (Figura 1), 24 eran hombres y 19 mujeres, de edad media  $48 \pm 12.6$  años (rango, 19-64 años), aparentemente sin enfermedad patológica de la marcha ni deformidades estructurales o funcionales graves en los pies. Los criterios de inclusión incluían sujetos con sobrepeso de entre 18 y 65 años, con indicación de pérdida de peso médica, sin patología de las extremidades inferiores o de la columna vertebral que pudiera afectar a la marcha normal, ni deformidades estructurales o funcionales en los pies. Se excluyeron los candidatos que no cumplieran los criterios de inclusión, o que informaban de dolor en los pies en los 6 meses anteriores, o que tenían alguna cirugía previa en los pies.

### Protocolo experimental y plan de evaluación

Los participantes fueron evaluados rigurosamente por el mismo médico endocrino y podólogo en la línea de base (Sesión 1) y al final del estudio tras la intervención de pérdida de peso (Sesión 2), cuando cada participante había perdido entre el 11-12 % de su peso corporal. Por lo tanto, se obtuvieron 2 pesos relacionados con las dos sesiones: Sesión 1 - Peso 1; Sesión 2 - Peso 2.

Para conseguir la pérdida de peso propuesta, se aplicó una modificación del estilo de vida<sup>17</sup>: una dieta específica muy baja en calorías (< 800 kcal/día), y 2 sesiones diarias de 15 minutos de ejercicio físico anaeróbico en función de la capacidad de los participantes, fueron diseñadas por un endocrino experimentado<sup>18,19</sup>.

En la Sesión 1 y en la Sesión 2, antes y después de la intervención de pérdida de peso, los participantes fueron sometidos a un examen baropodométrico (estático y dinámico). Este permitió cartografiar cuantitativamente las presiones en cada segmento de la superficie plantar<sup>20,21</sup>. Para la estática, se pidió a los participantes que se pusieran de pie en el centro de la plataforma durante 5 segundos, con los brazos a ambos lados del cuerpo en posición natural y mirando al frente<sup>22</sup>. Para minimizar las fluctuaciones corporales del individuo en la estática (como la oscilación y el desequilibrio del peso corporal), aplicamos este procedimiento 3 veces por sesión<sup>22</sup>. Para la dinámica, se pidió a los participantes que caminaran descalzos sobre la plataforma a su ritmo normal siguiendo el protocolo de los 3 pasos, que requiere aterrizar en la plataforma en el tercer paso de la marcha<sup>23</sup>. Para minimizar las fluctuaciones corporales del individuo en la dinámica (como la oscilación del peso corporal, el desequilibrio y los cambios en la velocidad de la marcha) aplicamos este procedimiento 3 veces por sesión<sup>22</sup>. Ambos pies se subdividieron en 9 zonas: el talón, el mediopié, las 5 cabezas metatarsales (MTH), el Hallux y los 2-5 dedos (Figura 2). La selección de las zonas del presente estudio se justifica porque se basa en la clínica diaria, donde las consultas de los pacientes con sobrepeso suelen ser por molestias o dolor en los MTH, por lo que estos se estudian por separado y está apoyado por autores, como Hills y cols.<sup>11</sup>, que realizaron un estudio completo de las diferencias de presiones entre sujetos obesos y no obesos.

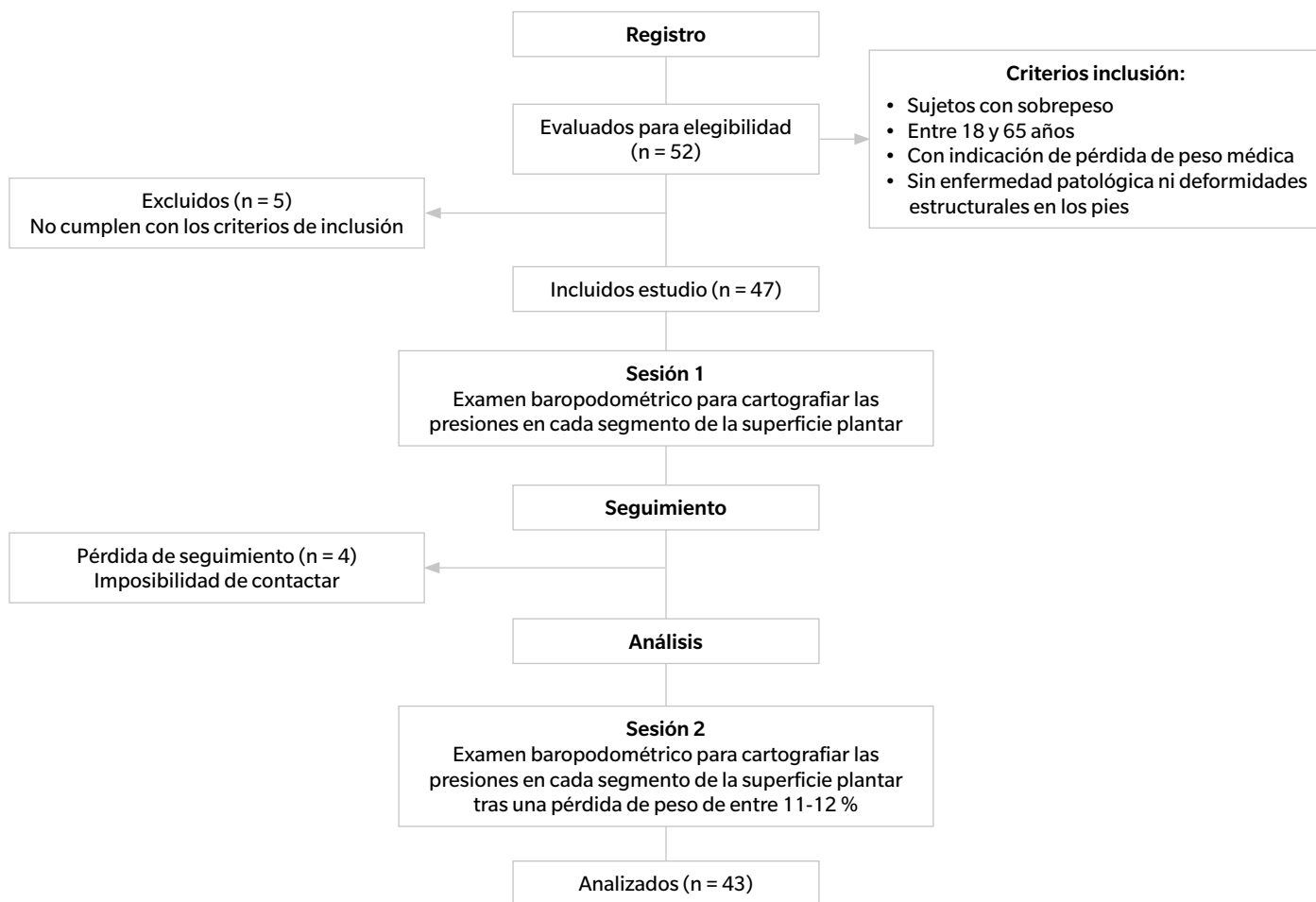


Figura 1. Diagrama CONSORT del flujo de participantes.

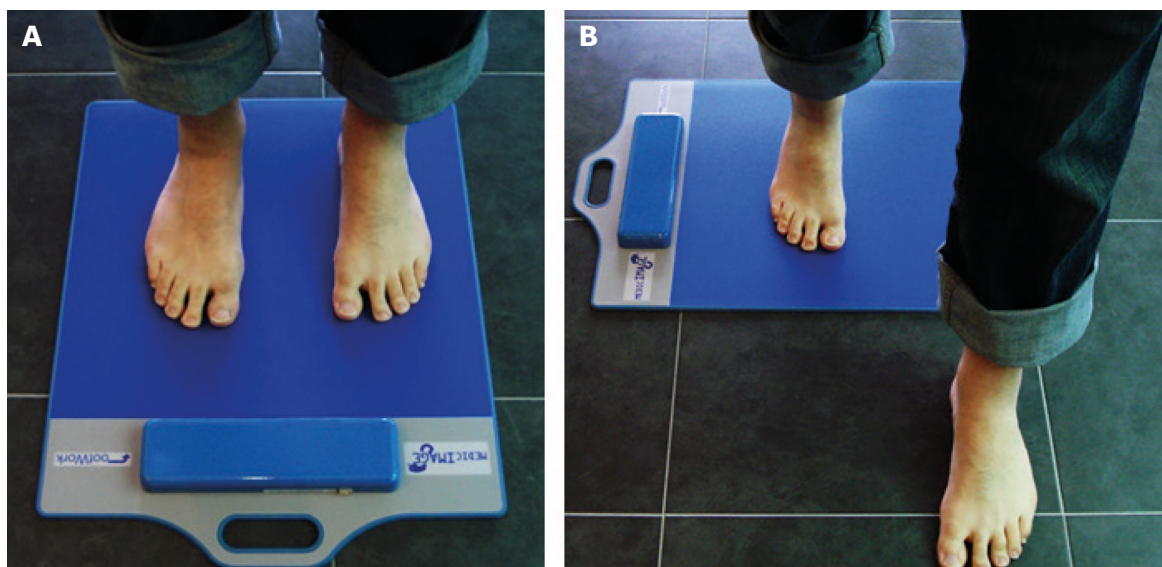


Figura 2. A: medición estática. B: medición dinámica, en la plataforma Footwork.

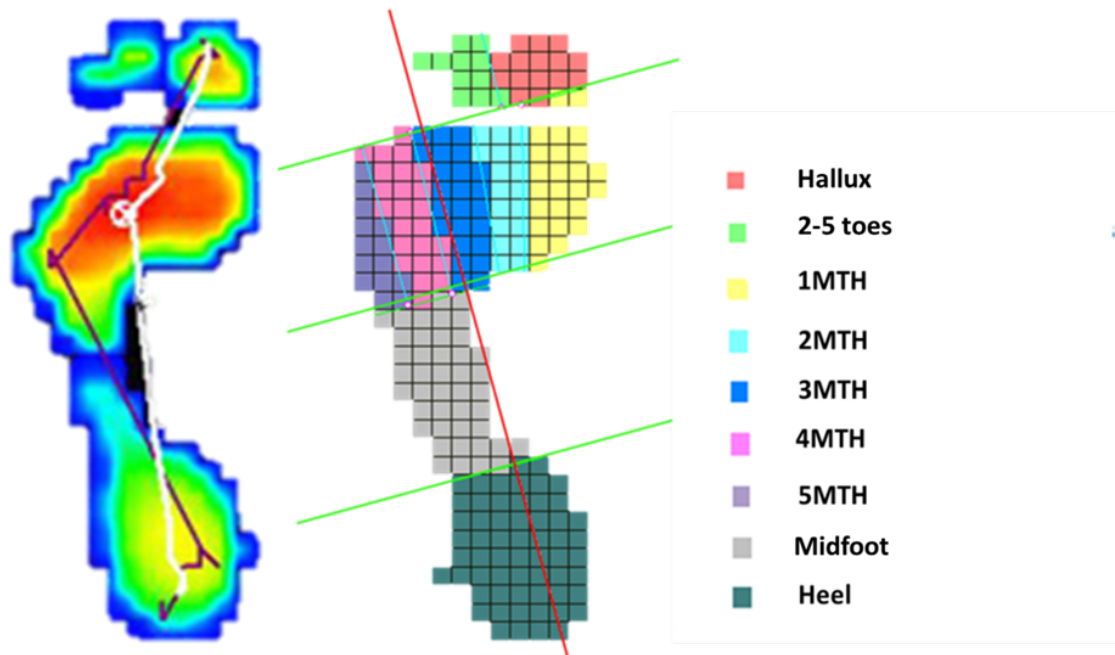


Figura 3. Huella de baropodometría dinámica (izquierda), 9 zonas de pies de estudio (derecha).

Las presiones máximas de estas zonas en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y la posición del CoP, se obtuvieron utilizando el software Footwork<sup>®</sup>. Los datos de las presiones máximas se expusieron gráficamente y se relacionaron con los dos pesos de cada paciente.

#### Equipo

Se utilizó la plataforma Footwork<sup>®</sup> (AM3-IST<sup>®</sup>, Francia), para el análisis baropodométrico<sup>22,24</sup> (Figura 3).

El peso y la altura de los participantes se midieron durante cada sesión con una báscula Año-Sayol y un estadiómetro, respectivamente (Año-Sayol SL, Barcelona, España).

#### Análisis estadístico y variables de estudio

Se realizó un análisis exploratorio inicial de todas las variables clínicas. Las variables continuas se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar (DE), mientras que las cualitativas se expresaron como frecuencias y porcentajes. Se comprobó la normalidad de los datos continuos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se aplicó la prueba de Chi cuadrado para mostrar la relación entre las variables cualitativas. Para comparar los pesos medios entre dos grupos independientes según la normalidad, se utilizó la prueba t-Student. Las diferencias entre la Sesión 1 y la Sesión 2 se realizaron mediante métodos de comparación de medias, Wilcoxon cuando la variable no seguía una distribución normal, y t-Student para muestras relacionadas cuando había normalidad. Para cuantificar la diferencia entre el peso y las presiones plantares y el CoP en la Sesión 1 y la Sesión 2 se calculó el “porcentaje de cambio”, que se definió como la variación relativa en puntos porcentuales entre ambas sesiones: porcentaje de

cambio de peso (WC %) =  $[(\text{peso en la Sesión 2} - \text{peso en la Sesión 1}) / \text{peso Sesión 1}] \times 100$ ; porcentaje de cambio de presión plantar (PPC %) =  $[(\text{presión en la Sesión 2} - \text{presión en la Sesión 1}) / \text{presión en la Sesión 1}] \times 100$ ; porcentaje de cambio de CoP =  $[(\text{tiempo CoP X+1} - \text{tiempo CoPX}) / \text{tiempo CoPX}] \times 100$ . El “porcentaje de cambio” se analizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman, de acuerdo con la normalidad.

La variable “mejorar” se estableció con el fin de analizar la posible relación entre la pérdida de peso y las 9 zonas de presión del pie consideradas en la sesión 1 y en la sesión 2, tanto para la baropodometría estática como para la dinámica. El nivel de significación estadística se estableció en  $p < 0.05$ , el nivel de confianza establecido en las comparaciones fue del 95 %. Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS 22.0 para Windows (SPSS<sup>®</sup> IBM Inc, versión 22.0, Armonk, NY, EE. UU.).

## Resultados

Todos los participantes procedían de la consulta de Endocrinología y Nutrición y tenían sobrepeso: peso medio para los hombres de 87 kg (rango, 72-104) y de 68 kg (rango, 62-75) para las mujeres, con un índice de masa corporal (IMC) superior a 25. La comparación media de los dos pesos estudiados se muestra en la Tabla I. La pérdida de peso entre ambas épocas fue estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). También se observan las diferencias de peso entre géneros que no tuvieron significación estadística.

Para las presiones plantares, en estática (Tabla II) se observó una disminución de la presión media estadísticamente significativa entre la primera y la segunda medición en el hallux, 2.º MTH, 3.º MTH, 5.º MTH y talón.

**Tabla I. Comparación de medias de variables continuas y grupo estadístico.**

Comparación de medidas (n = 43)						Grupo estadístico (n = 43)		
Media de IC 95 %					*p valor		Hombres (n = 24)	Mujeres (n = 19)
		LL	UL					
Peso 1 - 2	9.0837	1.9689	8.4778	9.6897	<b>0.001</b>	Peso 1 (kg) – Media (DE)	87.304 (16.7965)	68.305 (4.7354)
							*p valor = 0.000	
						Peso 2 (kg) – Media (DE)	77.229 (15.7495)	60.474 (4.6207)
							*p valor = 0.000	

\*Prueba de t Student para muestras relacionadas.

DE: desviación estándar. IC: intervalo de confianza. LL: límite inferior. UP: límite superior.

**Tabla II. Estadística de todas las variables analizadas para la medición en estático.**

Variable	Media	IC inferior	IC superior	Mediana	Mínimo	Máximo	valor p
S-Hx (1)	0.066	0.043	0.089	0.000	0.00	0.61	<b>0.517*</b>
S-Hx (2)	0.047	0.026	0.069	0.000	0.00	0.65	<b>0.050*</b>
S-1MTH (1)	0.524	0.484	0.565	0.480	0.21	1.15	<b>0.045*</b>
S-1MTH (2)	0.509	0.462	0.557	0.465	0.19	1.36	<b>0.635*</b>
S-2MTH (1)	0.688	0.644	0.732	0.660	0.29	1.24	<b>0.057**</b>
S-2MTH (2)	0.611	0.552	0.669	0.570	0.26	2.23	<b>0.001**</b>
S-3MTH (1)	0.696	0.649	0.742	0.680	0.27	1.38	<b>0.017**</b>
S-3MTH (2)	0.637	0.577	0.697	0.590	0.27	2.28	<b>0.017**</b>
S-4MTH (1)	0.559	0.518	0.600	0.525	0.23	1.18	<b>0.020**</b>
S-4MTH (2)	0.536	0.486	0.586	0.495	0.19	1.49	<b>0.342**</b>
S-5MTH (1)	0.363	0.317	0.409	0.325	0.12	1.59	<b>0.107*</b>
S-5MTH (2)	0.336	0.277	0.396	0.295	0.06	1.95	<b>0.003*</b>
S-2-5 (1)	0.017	0.006	0.028	0.000	0.00	0.34	<b>0.464*</b>
S-2-5 (2)	0.142	0.007	0.022	0.000	0.00	0.18	<b>0.780*</b>
S-HEEL (1)	0.887	0.808	0.967	0.830	0.34	2.73	<b>0.081**</b>
S-HEEL (2)	0.784	0.723	0.845	0.770	0.15	1.95	<b>0.001**</b>
S-MID (1)	0.093	0.069	0.117	0.000	0.00	0.45	<b>0.128*</b>
S-MID (2)	0.092	0.061	0.123	0.030	0.00	1.03	<b>0.322*</b>

\* Prueba de Wilcoxon. \*\* Prueba t-Student para muestras relacionadas.

S: estático. 1: peso 1. 2: peso 2. Hx: hallux. MTH: cabeza metatarsal. 2-5: 2-5 dedos. HEEL: talón. MID: mediopié.

En la dinámica (Tabla III) se observó una disminución de la presión estadísticamente significativa entre la primera y la segunda medición en el hallux, 1.º MTH, 2.º MTH, 3.º MTH, 4.º MTH, 5.º MTH, talón y mediopié. En resumen, todas las zonas de estudio excepto en los dedos 2.º a 5.º.

La Tabla IV muestra el análisis descriptivo, así como el número de pacientes (n) considerados en cada caso. La relación entre el cambio de peso y el cambio de presión se estudió mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

En estática, se observa que la variación de peso es estadísticamente significativa en el hallux, 1.º MTH, 2.º MTH, 3.º MTH y 4.º MTH.

En dinámica, entre la Sesión 1 y la Sesión 2, solo encontramos una asociación significativa entre los cambios de presión y la variación de peso en los dedos 2.º a 5.º y en el mediopié.

## Discusión

Los cambios de postura a largo plazo, como los producidos por el aumento de peso, pueden inducir cambios degenerativos permanentes en el sistema musculoesquelético<sup>25</sup>. Por lo tanto, la pérdida de peso influirá positivamente en la postura corporal, lo que se puede observar estudiando la presión plantar y el movimiento del CoP<sup>26</sup>.

En la presente investigación no se han observado cambios significativos entre la variación del CoP y el género, como evidencian Rogind y cols.<sup>27</sup> y Nordahl y cols.<sup>28</sup>. Sin embargo, hemos observado que el CoP retrocede cuando se pierde peso. Estos resultados coinciden con los obtenidos por DeVita y cols.<sup>29</sup>, que demostraron que el CoP se desplaza hacia delante cuando aumenta el peso. Gilleard y Smith, en 2007<sup>16</sup>, enfatizaron esto y añadieron la hipótesis de la falta

**Tabla III. Estadísticas de todas las variables analizadas para la medición dinámica.**

Variable	Media	IC inferior	IC superior	Mediana	Mínimo	Máximo	valor p
D-Hx (1)	0.832	0.654	1.009	0.500	0.00	4.04	<b>0.364*</b>
D-Hx (2)	0.660	0.527	0.793	0.515	0.03	3.39	<b>0.043*</b>
D-1MTH (1)	1.419	1.292	1.547	1.300	0.52	3.39	<b>0.001*</b>
D-1MTH (2)	1.130	1.023	1.238	1.085	0.45	2.78	<b>0.000*</b>
D-2MTH (1)	2.202	2.047	2.356	2.060	0.95	4.01	<b>0.001**</b>
D-2MTH (2)	1.830	1.666	1.995	1.710	0.67	4.15	<b>0.000**</b>
D-3MTH (1)	2.269	2.100	2.437	2.115	0.94	4.06	<b>0.003**</b>
D-3MTH (2)	1.870	1.687	2.053	1.580	0.63	4.74	<b>0.000**</b>
D-4MTH (1)	1.585	1.445	1.726	1.415	0.61	3.90	<b>0.004*</b>
D-4MTH (2)	1.313	1.168	1.457	1.140	0.42	3.56	<b>0.000*</b>
D-5MTH (1)	0.889	0.737	1.040	0.735	0.18	4.67	<b>0.052*</b>
D-5MTH (2)	0.723	0.610	0.837	0.600	0.14	3.35	<b>0.011*</b>
D-2-5 (1)	0.142	0.115	0.168	0.130	0.00	0.56	<b>0.477*</b>
D-2-5 (2)	0.127	0.103	0.150	0.105	0.00	0.58	<b>0.315*</b>
D-HEEL (1)	1.506	1.326	1.687	1.350	0.52	5.57	<b>0.001*</b>
D-HEEL (2)	1.156	1.032	1.280	1.025	0.35	3.39	<b>0.000*</b>
D-MID (1)	0.180	0.118	0.241	0.140	0.00	2.28	<b>0.314*</b>
D-MID (2)	0.149	0.061	0.237	0.000	0.00	3.59	<b>0.003*</b>

\* Prueba de Wilcoxon. \*\* Prueba t-Student para muestras relacionadas.

D: dinámico. 1: peso 1. 2: peso 2. Hx: hallux. MTH: cabeza metatarsal. 2-5: 2-5 dedos.HEEL: talón. MID: mediopié.

**Tabla IV. Cambio registrado entre sesiones en el porcentaje de peso por zona en estático y dinámico.**

	Variable	Media	IC inferior	IC superior	Mediana	Mínimo	Máximo	n	Coef.*	valor p
Estática	S-Hx (1-2)	22.328	-45.578	90.233	-55.476	-100.00	1050.00	42	0.328	<b>0.034**</b>
	S-1MTH (1-2)	-17.230	-22.403	-12.057	-20.170	-63.38	46.43	86	0.367	<b>0.001**</b>
	S-2MTH (1-2)	-10.293	-16.493	-4.093	-10.790	-53.23	171.95	86	0.309	<b>0.004***</b>
	S-3MTH (1-2)	-7.036	-13.647	-0.424	-9.245	-51.72	204.00	86	0.327	<b>0.002***</b>
	S-4MTH (1-2)	0.205	-9.400	9.811	-7.709	-72.45	245.16	86	0.281	<b>0.009**</b>
	S-5MTH (1-2)	0.749	-13.969	15.467	-10.644	-74.21	457.14	86	0.034	<b>0.757**</b>
	S-2-5 (1-2)	-4.958	-93.826	83.909	-96.296	-100.00	450.00	18	0.458	<b>0.056**</b>
	S-HEEL (1-2)	-7.146	-13.356	-0.935	-11.585	-60.53	102.70	86	-0.073	<b>0.504**</b>
	S-MID (1-2)	-13.226	-35.637	9.186	-21.111	-100.00	312.00	42	-0.028	<b>0.862**</b>
Dinámica	D-Hx (1-2)	35.180	-0.186	70.546	-9.434	-94.71	823.08	85	-0.050	<b>0.647**</b>
	D-1MTH (1-2)	-14.623	-22.387	-6.860	-21.156	-74.38	114.96	86	0.022	<b>0.838**</b>
	D-2 MTH (1-2)	-14.718	-20.971	-8.465	-15.614	-65.09	141.28	86	0.059	<b>0.590***</b>
	D-3MTH (1-2)	-15.236	-21.818	-8.654	-17.618	-67.24	134.97	86	0.117	<b>0.283***</b>
	D-4MTH (1-2)	-13.331	-21.080	-5.583	-19.740	-67.14	129.68	86	0.067	<b>0.538**</b>
	D-5MTH (1-2)	-1.667	-15.119	11.786	-19.917	-89.12	242.11	86	0.055	<b>0.617**</b>
	D-2-5 (1-2)	14.192	-15.730	44.113	-12.500	-100.00	650.00	72	0.235	<b>0.047**</b>
	D-HEEL (1-2)	-14.515	-23.350	-5.680	-25.119	-77.02	128.17	86	0.051	<b>0.640**</b>
	D-MID (1-2)	-39.858	-54.502	-25.213	-36.232	-100.00	112.50	52	0.297	<b>0.032**</b>

\*Rho de Spearman. \*\* Prueba de Wilcoxon. \*\*\* Prueba t-Student para muestras relacionadas.

S: estático. D: dinámico. 1-2: peso 1-2. Hx: hallux. MTH: cabeza metatarsal. 2-5: 2-5 dedos. HEEL: talón. MID: mediopié.

de estabilidad en los obesos como determinante del desplazamiento anterior.

La obesidad se ha asociado a un mayor desplazamiento hacia delante del centro de presiones<sup>15</sup>. La ganancia de masa corporal en los obesos genera un aumento de la inestabilidad que conduce a una mayor respuesta muscular para mantener el CoP en el centro del polígono de apoyo. La localización de la masa grasa en el cuerpo (tórax-abdomen en los hombres; caderas en las mujeres) contribuye a la inestabilidad anteroposterior<sup>30</sup>.

En la literatura encontramos opiniones opuestas sobre la influencia del peso en los valores de presión plantar. Varios estudios coinciden en que existe una correlación directa entre ambos factores<sup>11-13</sup>, es decir, el peso influye en las presiones plantares, lo que tiene consecuencias estructurales en los pies y las extremidades inferiores<sup>11</sup>.

Nuestros resultados mostraron que cuando el peso disminuía se encontraban diferencias estadísticamente significativas en los MTH en estático y en el mediopié en dinámico<sup>31</sup>. Estos hallazgos son apoyados por Birtane y cols.<sup>32</sup>, quienes demostraron que el aumento de peso no incrementa las presiones máximas de la marcha del antepié, aunque se encontró que la zona anatómica más sensible fue el 1.º MTH, donde se observó que el aumento de peso incrementa las presiones máximas<sup>13</sup>.

En el estudio de Arnold y cols.<sup>33</sup>, se observó la correlación entre mayores presiones plantares cuando aumenta el peso. Se estudiaron tres momentos: cuando los sujetos aumentan 5, 10 y 15 kg, encontrándose la relación para los dos últimos pesos en el hallux, cada MTH y el talón.

Riddiford-Harland y cols.<sup>34</sup> justifican que la zona media es la más sensible al cambio de presión debido al aumento de las fuerzas de impacto que limitan la capacidad del arco longitudinal medial para atenuar este cambio y, por lo tanto, la adaptación se produce por el aumento del apoyo de la parte media del pie<sup>34</sup>. Arnold y cols.<sup>33</sup> manifiestan que en su estudio esta zona no aparece como estadísticamente significativa porque el aumento de peso solo llegó hasta los 15 kg. Nuestro estudio no apoya esta hipótesis, ya que la pérdida de peso osciló entre 5,5 y 13,2 kg y esta fue la única zona estadísticamente significativa junto con los dedos del pie. En el caso de Hills y cols. se observó que el aumento más notable de la presión máxima entre los no obesos y los obesos se produjo en la región media del pie. Su estudio coincide con nuestros datos, pero con grandes diferencias en la media de la masa corporal entre los sujetos obesos y no obesos, 36,0 kg para las mujeres y 43,6 kg para los hombres<sup>11</sup>. Arnold fundamenta en este estudio que a mayor varianza de peso entre ambos grupos (obesos y no obesos) más significativa es la diferencia sobre la zona media<sup>33</sup>. Los resultados del presente estudio se pueden relacionar con los de Song y cols.<sup>35</sup> y Mueller y cols.<sup>13</sup>, que defienden que al aumentar el peso el arco plantar desciende (más en pie pronado) aumentando la carga sobre la superficie media de la planta del pie, coincidiendo con nuestro estudio.

Hay que destacar una limitación de la presente investigación, el movimiento lateral del CoP como no considerado. De todos modos, los resultados de este trabajo revelan la importante relación entre el peso y el sistema musculoesquelético.

Podemos concluir que la pérdida de peso afecta positivamente al CoP estática y a las presiones plantares, tanto estáticas como dinámicas, ya que se observan cambios estadísticamente significativos en el CoP antero-posterior y en las presiones plantares entre los dos

tiempos estudiados. El CoP se desplaza hacia atrás, lo que significa equilibrio y ganancia postural saludable. Cabe destacar que la reducción de peso afecta de forma diferente a las presiones plantares estáticas y dinámicas. Podemos observar que no hay ninguna zona anatómica de las 9 estudiadas que coincida entre los estudios estáticos y dinámicos como estadísticamente significativa.

#### Declaración ética

El estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica de Aragón (CEICA) con el número C.P.-C.I. PI17/0203 y registrado en ClinicalTrials.gov (NCT04809441). Los participantes firmaron voluntariamente un consentimiento informado. El estudio se ha realizado de acuerdo con los Principios de Helsinki.

#### Disponibilidad de datos y materiales

Los conjuntos de datos utilizados y/o analizados durante el presente estudio están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses contrapuestos.

#### Financiación

No aplicable.

#### Contribuciones de los autores

CL-C tuvo la idea original de la presente investigación, diseñó el protocolo, evaluó a los pacientes y diseñó el tratamiento. AG-B evaluó a los pacientes al inicio y después del seguimiento. JA-S realizó el análisis estadístico de los datos. JVA-S realizó la aleatorización, AP-M revisó y redactó el manuscrito, AJA-A revisó y redactó el manuscrito.

## Bibliografía

1. Monastir L, Batty GD, Cattaneo A, Lutje V, Ronfani L, Van Lenthe FJ, et al. Early-life determinants of overweight and obesity: a review of systematic reviews. *Obes Rev.* 2010;11(10):695-708. DOI: 10.1111/j.1467-789X.2010.00735.x.
2. Buckley J. Exercise self-efficacy intervention in overweight and obese women. *J Health Psychol.* 2016;21(6):1074-84. DOI: 10.1177/1359105314545096.
3. Benítez-Andrades JA, Arias N, García-Ordás MT, Martínez-Martínez M, García-Rodríguez I. Feasibility of Social-Network-Based eHealth Intervention on the Improvement of Healthy Habits among Children. *Sensors (Basel).* 2020;20(5). pii: E1404. DOI: 10.3390/s20051404.
4. de Souza SA, Faintuch J, Valezi AC, Sant' Anna AF, Gama-Rodrigues JJ, de Batista Fonseca IC, et al. Gait cinematic analysis in morbidly obese patients. *Obes Surg.* 2005;15(9):1238-42. DOI: 10.1381/096089205774512627.
5. Vismara L, Romei M, Galli M, Montesano A, Baccalaro G, Crivellini M, et al. Clinical implications of gait analysis in the rehabilitation of adult patients with "Prader-Willi" Syndrome: a cross-sectional comparative study ("Prader-Willi" Syndrome vs matched obese patients and healthy subjects). *J Neuroeng Rehabil.* 2007;4:14. DOI: 10.1186/1743-0003-4-14.
6. Lee W, Hong SH, Oh HW. Characterization of Elastic Polymer-Based Smart Insole and a Simple Foot Plantar Pressure Visualization Method Using 16 Electrodes. *Sensors (Basel).* 2018;19(1). pii: E44. DOI: 10.3390/s19010044.
7. Gomez Bernal A, Becerro-de-Bengoa-Vallejo R, Losa-Iglesias ME. Reliability of the OptoGait portable photoelectric cell system for the quantification of spatial-temporal parameters of gait in young adults. *Gait Posture.* 2016;50:196-200. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.035.
8. Ferrin B, Diego C, Magdalena X, Correa HL. Determinación semiautomática de parámetros morfológicos de la huella plantar mediante el procesamiento digital de imágenes. *Sistemas & Telemática.* 2013;11(27):9-26.
9. Puig-Diví A, Prats-Puig A. Postural and dynamic analysis of the human body: The relevance of the functional modulator factors in the methodological design. *Mult J Educ Soc & Tec Sci.* 2015;2(2):95-120. DOI: 10.4995/muse.2015.3754.

10. Wafai L, Zayegh A, Woulfe J, Aziz SM, Begg R. Identification of Foot Pathologies Based on Plantar Pressure Asymmetry. *Sensors (Basel)*. 2015;15(8):20392-408. DOI: 10.3390/s150820392.
11. Hills AP, Hennig EM, McDonald M, Bar-Or O. Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001;25(11):1674-9. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801785.
12. Menz HB, Morris ME. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. *Gait Posture*. 2006;24(2):229-36. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2005.09.002.
13. Mueller MJ, Hastings M, Commean PK, Smith KE, Pilgram TK, Robertson D, Johnson J. Forefoot structural predictors of plantar pressures during walking in people with diabetes and peripheral neuropathy. *J Biomech*. 2003;36(7):1009-17. DOI: 10.1016/S0021-9290(03)00078-2.
14. Taborri J, Palermo E, Rossi S, Cappa P. Gait Partitioning Methods: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2016;16(1). pii: E66. DOI: 10.3390/s16010066.
15. Berrigan F, Simoneau M, Tremblay A, Hue O, Teasdale N. Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *Int J Obes (Lond)*. 2006;30(12):1750-7. DOI: 10.1038/sj.ijo.0803342.
16. Gilleard W, Smith T. Effect of obesity on posture and hip joint moments during a standing task, and trunk forward flexion motion. *Int J Obes (Lond)*. 2007;31(2):267-71. DOI: 10.1038/sj.ijo.0803430.
17. Fujioka K. Benefits of moderate weight loss in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Obes Metab*. 2010;12(3):186-94. DOI: 10.1111/j.1463-1326.2009.01155.x.
18. Siram AT, Yanagisawa R, Skamagas M. Weight management in type 2 diabetes mellitus. *Mt Sinai J Med*. 2010;77(5):533-48. DOI: 10.1002/msj.20208.
19. Anderson JW, Kendall CW, Jenkins DJ. Importance of weight management in type 2 diabetes: review with meta-analysis of clinical studies. *J Am Coll Nutr*. 2003;22:331-9. DOI: 10.1080/07315724.2003.10719316.
20. Fabris SM, Valezi AC, de Souza SA, Faintuch J, Ceconello I, Junior MP. Computerized baropodometry in obese patients. *Obes Surg*. 2006;16(12):1574-8. DOI: 10.1381/096089206779319293.
21. Gravante G, Russo G, Pomara F, Ridola C. Comparison of ground reaction forces between obese and control young adults during quiet standing on a baropodometric platform. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2003;18(8):780-2. DOI: 10.1016/S0268-0033(03)00123-2.
22. Becerro de Bengoa Vallejo R, Losa Iglesias ME, Zeni J, Thomas S. Reliability and repeatability of the portable EPS-platform digital pressure-plate system. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2013;103(3):197-203. DOI: 10.7547/1030197.
23. Peter EJG, Urukalo A, Fleischli JG, Lavery LA. Reproducibility of Gait Analysis Variables: One-Step versus Three-Step Method of Data Acquisition. *J Foot Ankle Surg*. 2002;41(4):206-12. DOI: 10.1016/S1067-2516(02)80016-3.
24. Giacomozzi C. Appropriateness of plantar pressure measurement devices: a comparative technical assessment. *Gait Posture*. 2010;32(1):141-4. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.03.014.
25. Hue O, Simoneau M, Marcotte J, Berrigan F, Doré J, Marceau P, Marceau S, Tremblay A, Teasdale N. Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture*. 2007;26(1):32-8. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.07.005.
26. Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions—a systematic review of the literature. *Gait Posture*. 2010;32(4):436-45. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.09.012.
27. Røgind H, Lykkegaard JJ, Bliddal H, Danneskiold-Samsøe B. Postural sway in normal subjects aged 20-70 years. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2003;23(3):171-6. DOI: 10.1046/j.1475-097X.2003.00492.x.
28. Nordahl SH, Aasen T, Dyrkorn BM, Eidsvik S, Molvaer OI. Static stabilometry and repeated testing in a normal population. *Aviat Space Environ Med*. 2000;71(9):889-93.
29. DeVita P, Hortobágyi T. Obesity is not associated with increased knee joint torque and power during level walking. *J Biomech*. 2003;36(9):1355-62. DOI: 10.1016/S0021-9290(03)00119-2.
30. Clark KN. Balance and strength training for obese individuals. *ACSM's Health & Fitness J*. 2004;8(1):14-20. DOI: 10.1097/00135124-200401000-00008.
31. Bolte K, Hennig E, Hills A, McDonald M. Pressure changes under the feet of obese adults after a weight reduction program. *Arch Physiol Biochem*. 2000;108(1-2):70.
32. Birtane M, Tuna H. The evaluation of plantar pressure distribution in obese and non-obese adults. *Clin Biomech*. 2004;19(10):1055-9. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2004.07.008.
33. Arnold JB, Causby R, Dip Pod G, Jones S. The impact of increasing body mass on peak and mean plantar pressure in asymptomatic adult subjects during walking. *Diabetic foot & ankle*. 2010;1(1):5518. DOI: 10.3402/dfa.v1i0.5518.
34. Riddiford-Harland DL, Steele JR, Storlien LH. Does obesity influence foot structure in prepubescent children? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000;24(5):541-4. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801192.
35. Song J, Kane R, Tango DN, Vander Veur SS, Furmato J, Komaroff E, et al. Effects of weight loss on foot structure and function in obese adults: a pilot randomized controlled trial. *Gait Posture*. 2015;41(1):86-92. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.08.013.