

RESUMEN DE TESIS DOCTORAL

ESTUDIO ANATÓMICO DE LA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA. DISEÑO DE UNA PRÓTESIS PARA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA POSTERIOR

Dr. T. Sanz Gómez

*Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatológica.
Hospital Severo Ochoa. Leganés, Madrid.*

Es convicción común que la anatomía normal del cuerpo humano está completamente documentada, se entiende perfectamente y es en gran medida irrefutable. Sin embargo, un estudio de la literatura relacionada con las superficies articulares, los ligamentos y los movimientos de la articulación subastragalina pone de manifiesto un nivel sorprendente de diferencias y discrepancias entre los autores. Como primer paso para el diseño de una prótesis para esta articulación, una de las pocas que hasta el presente no han sido objeto de sustitución protésica, se ha llevado a cabo un estudio anatómico detallado de la misma. Se describen en el presente artículo los objetivos y métodos del citado estudio, así como sus resultados. Seguidamente, se procedió a una reconstrucción tridimensional de las superficies articulares. Por fin, y tomando como base los pasos previos precedentes, se diseñó una prótesis modular para la articulación subastragalina posterior.

PALABRAS CLAVE: *Articulación subastragalina posterior, estudio anatómico, reconstrucción tridimensional, prótesis, diseño.*

ANATOMIC STUDY OF THE SUBTALAR JOINT. DESIGN OF A POSTERIOR SUBTALAR JOINT PROsthESIS: It is commonly held that the normal anatomy of the human body has already been completely documented, is perfectly well understood and is, to a great extent, incontrovertible. And yet, a study of the literature regarding the articular surfaces, the ligaments and the movements of the subtalar joint evidences a surprising level of differences and discrepancies among the various authors. As the first step in the design of a prosthesis for this joint, one of the very few that have not yet been the object of prosthetic substitution, we have carried out a detailed anatomic study of that joint. The aims and methodology of the study, as well as its results, are described in the present paper. After this descriptive study, a tridimensional reconstruction of the articular surfaces was carried out. Finally, and on the basis of the results of the two foregoing steps, a modular prosthesis for the posterior subtalar joint was designed.

KEY WORDS: *Posterior subtalar joint, anatomic study, tridimensional reconstruction, prosthesis, design.*

Se asume comúnmente que la anatomía del cuerpo humano está completamente documentada, se entiende perfectamente y es más o menos irrefutable. Sin embargo, un estudio a través de la literatura relacionado con las superficies articulares, los ligamentos y los movimientos de la articulación subastragalina muestra un nivel sorprendente de diferencias entre los autores.

Correspondencia:

*Dr. T. Sanz Gómez
Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatológica
Hospital Severo Ochoa
Avda. de Orellana, s/n
28911 Leganés (Madrid)*

OBJETIVOS

Como un primer paso para el diseño de una prótesis de la articulación subastragalina, una de las pocas articulaciones que hasta ahora no han sido sustituidas protésicamente, se decidió hacer un estudio anatómico de esta articulación, previo al diseño de la misma.

Para ello se estudiaron:

- Las áreas, los arcos y las alturas de las superficies articulares.
- La reconstrucción tridimensional de sus superficies.
- Las características de la prótesis diseñada.



Figura 1. Método del estudio de las áreas de las superficies articulares. Cara superior del calcáneo, sobre la que se ha pegado lienzo, y sobre este se han dibujado las superficies articulares.

Figure 1. Method for the study of the areae of the articular surfaces. A cloth tissue has been glued upon the upper surface of the calcaneus, and the articular surfaces have been traced upon this cloth tissue.

ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DE LAS SUPERFICIES ARTICULARES

Con el fin de conseguir información, sobre las dimensiones que debían tener las superficies de los componentes de la prótesis de la articulación subastragalina posterior, se decidió estudiar el área de las mismas. También se estudió el área de las superficies articulares de la subastragalina anterior.

Igualmente, sobre la representación gráfica de estas superficies, y asumiendo que eran parte de la superficie de un cilindro, se estudió el arco de mayor longitud y su

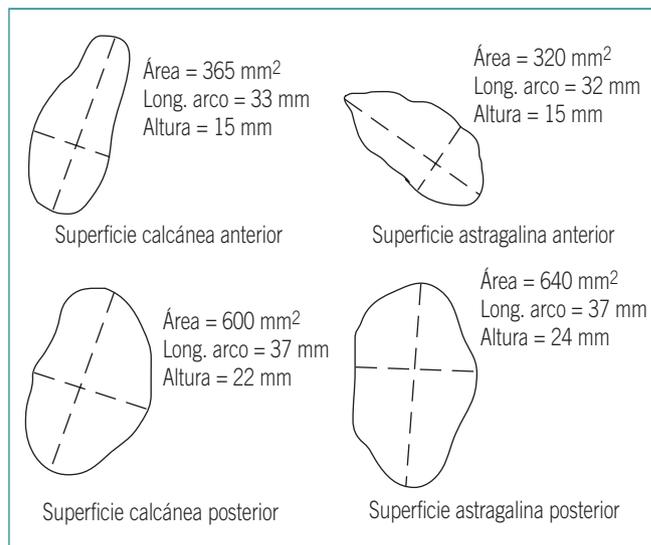


Figura 2. Medición de las áreas, de las longitudes de los arcos y alturas, de las superficies articulares del espécimen 35.

Figure 2. Measurement of the areae and of the arch lengths and heights of the articular surfaces of specimen 35.

altura mayor. Estos datos fueron utilizados para el diseño de la prótesis.

Se buscó la posible relación entre estos datos y los de la longitud del calcáneo medida en la radiografía lateral.

MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizaron diez especímenes frescos (35-44 años) de astrágalo y diez de calcáneo procedentes de amputaciones de miembros inferiores.

Se utilizó lienzo fino muy delgado (batista), transparente, que se pegó a la superficie articular con "Pelifix", y con un rotulador se punteó y pintó el borde libre cartilaginoso de la superficie articular a estudiar (**Figura 1**); a continuación, se pegó el lienzo en papel, se hicieron fotocopias y se llevó a cabo un estudio planimétrico de las mismas, para medir las áreas.

Asumiendo que estas superficies articulares eran parte de las de un cilindro, se dibujó sobre estas el arco de mayor longitud y la altura mayor perpendicular a la anterior, midiendo a continuación estas variables (**Figura 2**). En los casos en que las superficies articulares de la articulación subastragalina anterior estaban divididas en dos, se utilizó la suma de las áreas de cada una.

Las imágenes obtenidas por este método de las superficies articulares astragalina y calcánea posterior fueron superpuestas, utilizando como parámetros de superposición la unión del arco de longitud mayor y la altura mayor (**Figuras 3 y 4**).

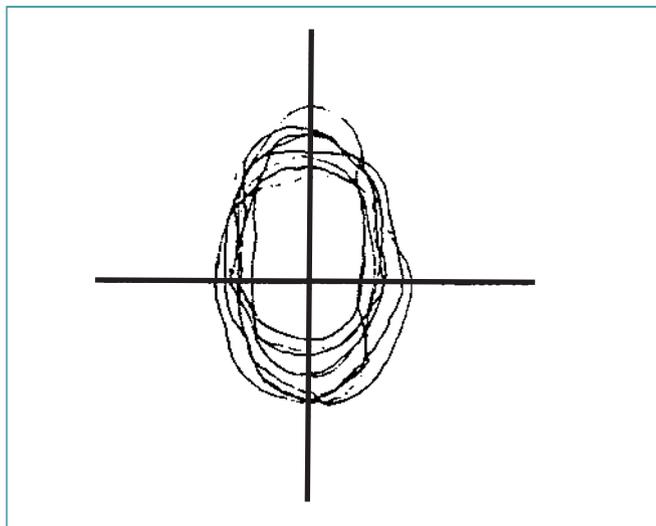


Figura 3. Superposición de las áreas de las superficies articulares posteriores de los astrágalos, tomando como referencia el punto de intersección del arco con la altura.

Figure 3. Superposition of the areae of the posterior articular surfaces of the astragali, using the intersection of arch length and arch height as the reference point.

A nueve de esos diez calcáneos (35-43) se les practicó una radiografía lateral, a un metro de distancia, y posteriormente se midió la longitud del mismo en la radiografía. Se realizaron análisis de correlación entre

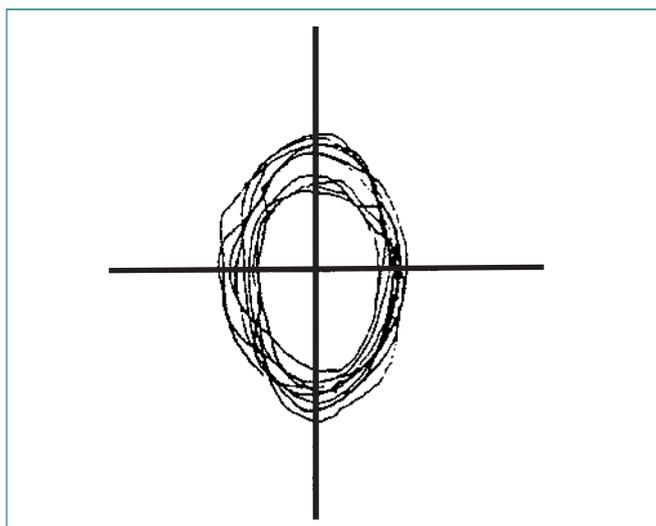


Figura 4. Superposición de las áreas de las superficies articulares posteriores de los calcáneos, tomando como referencia el punto de intersección del arco con la altura.

Figure 4. Superposition of the areae of the posterior articular surfaces of the calcanei, using the intersection of arch length and arch height as the reference point.

cada una de las variables anteriores y la longitud del calcáneo.

RESULTADOS

De los diez especímenes estudiados, se apreció que el área de la superficie articular posterior del astrágalo variaba entre 500 y 770 mm², con una media de 632 mm² y una desviación estándar de 77,01 mm²; la del calcáneo, entre 485 y 765 mm², con una media de 639 mm² y una desviación estándar de 77,89 mm². Se apreció que en estas carillas posteriores el astrágalo tenía un área mayor que el calcáneo en seis casos y menor en cuatro (Tabla I).

El área de la superficie articular anterior del astrágalo, variaba entre 200 y 360 mm², con una media de 287 mm² y una desviación estándar de 46,21 mm²; y la del calcáneo, entre 195 y 365 mm², con una media de

Tabla I. Áreas de las superficies articulares

Área de la subastragalina posterior en mm ²		
Astrágalo	Especímen	Calcáneo
640	35	600
590	36	730
605	37	625
700	38	640
770	39	765
550	40	620
620	41	570
725	42	710
500	43	485
620	44	660
Área de la subastragalina anterior en mm ²		
Astrágalo	Especímen	Calcáneo
320	35	365
275	36	280
200	37	220
280	38	250
235	39	210
320	40	310
300	41	195
330	42	320
360	43	340
250	44	370

Tabla II. Longitud de los arcos de las superficies articulares

Longitud del arco de la subastragalina posterior en mm		
Astrágalo	Espécimen	Calcáneo
37	35	37
34	36	36
36	37	36
42	38	38
38	39	38
35	40	35
35	41	35
37	42	40
31	43	31
40	44	36
Longitud del arco de la subastragalina anterior en mm		
Astrágalo	Espécimen	Calcáneo
32	35	33
32	36	32
27	37	28
31	38	31
30	39	28
30	40	34
28	41	28
33	42	37
29	43	33
28	44	34

276 mm² y una desviación estándar de 54,67 mm². En cinco especímenes el área era mayor en el calcáneo, y en los otros cinco lo era en el astrágalo (Tabla I).

El arco de mayor longitud, medido sobre la superficie plana de la carilla articular posterior del astrágalo, variaba entre 31 y 42 mm, con una media de 36 mm y una desviación estándar de 2,94 mm; en el calcáneo, el arco de mayor longitud variaba entre 31 y 40 mm, con una media de 36 mm y una desviación estándar de 2,27 mm (Tabla II).

El arco de longitud mayor medido en la carilla articular anterior variaba en el astrágalo entre 27 y 33 mm, siendo la media de 30 mm, con una desviación estándar de 1,89 mm; en el calcáneo, entre 28 y 37 mm, con una media de 32 mm y una desviación estándar de 2,89 mm. En los casos en que estas carillas estaban divididas en dos, se utilizó la suma de los dos (Tabla II).

La altura en la carilla articular astragalina posterior variaba entre 20 y 28 mm, con una media de 23 mm

Tabla III. Longitud de la altura de las superficies articulares

Longitud de la altura de la subastragalina posterior en mm		
Astrágalo	Espécimen	Calcáneo
24	35	22
22	36	29
20	37	24
23	38	24
26	39	27
22	40	20
24	41	22
28	42	24
20	43	21
23	44	24
Longitud de la altura de la subastragalina anterior en mm		
Astrágalo	Espécimen	Calcáneo
15	35	15
13	36	13
14	37	12
15	38	13
14	39	12
17	40	14
14	41	11
18	42	20
17	43	14
12	44	14

y una desviación estándar de 3,35 mm; en la calcánea posterior variaba entre 20 y 29 mm, con una media de 24 mm y una desviación estándar de 2,57 mm (Tabla III).

Esta altura en la carilla articular astragalina anterior variaba entre 12 y 18 mm, con una media de 15 mm y una desviación estándar de 1,81 mm; en la calcánea anterior oscilaba entre 11 y 20 mm, con una media de 14 mm y una desviación estándar de 2,35 mm. Cuando la carilla anterior estaba dividida en dos, solo se utilizó la de mayor dimensión, que fue siempre la más posterior (Tabla III).

En cuanto a la superposición de las imágenes obtenidas de las superficies articulares posteriores, se aprecia tanto en el astrágalo como en el calcáneo una imagen oval (Figuras 3 y 4).

Las longitudes de los calcáneos medidos en las radiografías laterales iban desde los 74 hasta los 92 mm, con

Tabla IV. Longitud del calcáneo (en mm) en la Rx lateral

Espécimen	Longitud
35	77
36	78
37	79
38	80
39	81
40	84
41	77
42	92
73	74

una media de 80 mm y una desviación estándar de 6 mm (Tabla IV).

Se encontró correlación significativa exclusivamente con la longitud del arco de la carilla articular calcánea posterior.

Desde esos resultados, se ha realizado un análisis de regresión lineal entre ambas variables, encontrando, con una $p < 0,05$, un valor de 0,5 para el coeficiente de determinación (r^2), y los siguientes valores para los parámetros del modelo:

m (pendiente) = 0,3

b (ordenada en el origen) = 14,4;

y, por lo tanto, puede escribirse:

Arco CP = 0,3 long. CL + 14,4 ($p < 0,05$)

CP = Calcánea posterior

CL = Longitud del calcáneo;

teniendo en cuenta que las variaciones en la longitud lateral del calcáneo explicarían un 50% (valor de r^2) de la variabilidad en la longitud de su arco posterior.

DISCUSIÓN

Esta parte del trabajo se dirigió al estudio del área, la longitud del arco y la altura del segmento de cilindro del que, según la hipótesis de trabajo, formaba parte la superficie articular, ya que estos parámetros determinan de forma primaria el tipo y amplitud de movilidad de una articulación⁽¹⁾, si bien hay que tener en cuenta que la articulación subastragalina está formada por dos articulaciones que se mueven de forma sincrónica.

Una primera aproximación al diseño de una prótesis de la articulación subastragalina posterior será la que tenga el promedio de su área, longitud del arco y altura de la superficie articular natural. El estudio de estos parámetros, junto con la forma de las superficies, fue utilizado en el diseño de la prótesis que se describe en otra parte de este trabajo.

El área de las superficies articulares de la articulación subastragalina posterior, tanto en el astrágalo como en el calcáneo, era algo más del doble que la de las superficies articulares anteriores. Tanto la media del arco de longitud mayor como la de la altura de ambas superficies articulares posteriores eran prácticamente idénticas.

La superposición de las imágenes obtenidas, por el método descrito de las superficies articulares de la articulación subastragalina posterior, demostró que la forma es oval tanto en el lado astragalino como en el lado calcáneo, tomando como punto de referencia común el punto de intersección del arco con la altura.

Puede esperarse la existencia de un rango de tamaños de las articulaciones entre los distintos sujetos, que, por tanto, necesitarán distintos tamaños de prótesis. Con vistas a saber si los parámetros estudiados de la geometría de las superficies articulares están en relación con parámetros fácilmente tomados de las radiografías, se realizaron análisis de regresión de los mismos con la longitud radiográfica del calcáneo. Se utilizó la longitud del calcáneo en la radiografía lateral, por ser el hueso más largo del tarso y, por ello, aquel en el que los errores relativos van a ser menores. Solo se encontró relación entre la longitud del calcáneo y el arco de la carilla calcánea posterior. De este modo, con la medición de la longitud del calcáneo, tomada de una radiografía lateral del pie, podemos saber el tamaño de la prótesis a implantar.

RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE LAS SUPERFICIES ARTICULARES

En la literatura se describen las superficies articulares de la articulación subastragalina posterior, como formadas por parte de un cilindro⁽²⁻⁶⁾ o de un cono⁽⁷⁾; algunos autores se limitan a señalar que se trata de superficies cóncavas y convexas, sin asemejarlas a ninguna figura geométrica⁽⁸⁾. Las superficies articulares de la articulación subastragalina anterior han sido descritas como parte de una esfera⁽⁶⁾, o como más o menos cóncavas o convexas, reconociendo que ésta forma parte de la articulación astrágalo-calcáneo-escafoidea.

Como parte del trabajo previo al diseño de la prótesis de la articulación subastragalina posterior, se decidió realizar un estudio tridimensional de estas superficies articulares, de sus radios y de sus ejes.

MATERIAL

Se utilizaron siete especímenes frescos de astrágalo y calcáneo (piezas 35 a 41) con su cartílago correspondiente, que mostraban mínimos signos degenerativos. Se utilizó líquido corrector para máquina de escribir GEHA, que sirvió para

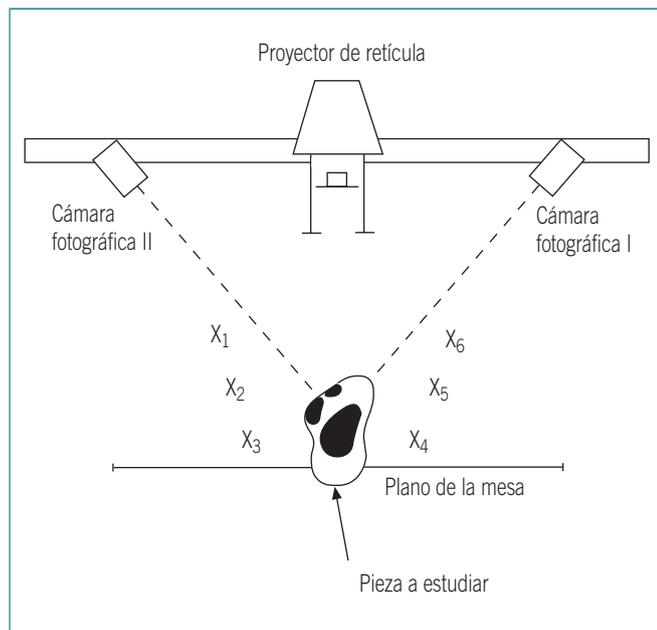


Figura 5. Método de obtención de las diapositivas de las superficies articulares marcadas con indeterminados puntos. X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 y X_6 son puntos fijos que sirven como marcas de referencia comunes para todas las fotografías.

Figure 5. Procedure for photographing the articular surfaces, which have been marked with arbitrary points. X_1 to X_6 are fixed points serving as common reference marks for all photographs.

resaltar las fotografías de las superficies articulares. Estas se tomaron con dos cámaras reflex de formato 35 mm idénticas (Olympus OM-10) y la película elegida fue Kodachrome. Las cámaras fueron colocadas sobre un soporte rígido, a una distancia de 40 cm de las piezas, y separadas entre sí 100 cm. Para marcar las superficies articulares, se proyectó sobre las mismas una rejilla previamente fotografiada. Se utilizó un hexaedro de 11 x 11 x 11 cm, con dos de sus caras marcadas con un total de 31 puntos (origen más 10 puntos en cada una de las direcciones del espacio) de coordenadas conocidas, como objeto de control, y un cilindro marcado en su superficie con un número indeterminado de puntos, como objeto alternativo. La ampliadora fotográfica fue utilizada para proyectar la rejilla sobre el espécimen a fotografiar. Posteriormente, el negativo se proyectó sobre una tableta digitalizadora formato A3 con 40 lpmm (líneas por mm) de resolución, e interfaz serie RS 232-C conectada a un ordenador personal IBM PS/2 modelo 70.

MÉTODO

Se colocaron los especímenes sobre una mesa, disponiendo las carillas articulares objeto del estudio hacia arriba y, aproximadamente, paralelas al plano de la

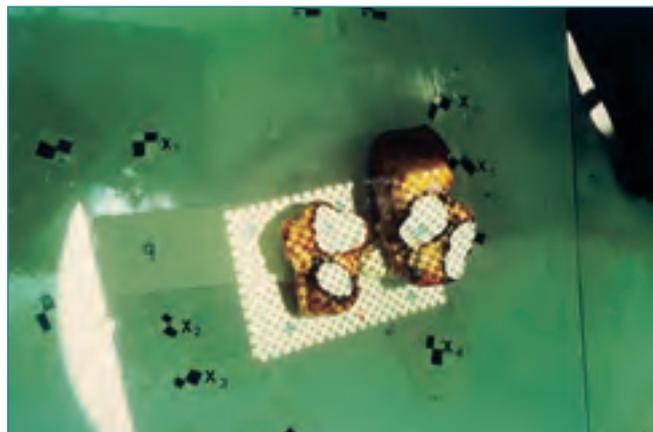


Figura 6. Imagen obtenida por el procedimiento descrito, con la cámara situada a la derecha, en la que se observan los puntos X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 y X_6 . El astrágalo se encuentra a la izquierda, y el calcáneo, a la derecha; sobre sus superficies articulares pintadas en blanco se aprecian los puntos proyectados, que serán digitalizados.

Figure 6. Image recorded using the procedure described with the photographic camera on the right side, showing the X_1 to X_6 reference points. The astragalus is on the left and the calcaneus on the right of the image. The projected points that will be digitalised are clearly visible on the white-painted articular surfaces.

misma, apoyados sobre plastilina (Figura 5). Sobre dichas carillas articulares, previamente pintadas con líquido corrector para máquina de escribir, se proyectó una rejilla marcada, cuyos puntos se visualizaban correctamente sobre la carilla articular correspondiente. Se han obtenido simultáneamente dos diapositivas, con sendas cámaras fotográficas, colocadas a cada lado de la pieza, intentando en cada una de ellas coger la mayor cantidad de superficie articular. En el plano de la mesa se colocaron seis puntos fijos, que servían como puntos de referencia comunes para todas las fotografías. Las diapositivas obtenidas (derecha e izquierda) (Figuras 6 y 7) fueron proyectadas sobre una tableta digitalizadora con un proyector para el copiado manual de diapositivas (Figura 8). Se hizo uso de un proyector, montado adecuadamente para obtener imágenes en un plano horizontal.

La digitalización se realizó con una tableta digitalizadora Summagraphics MM1812 (formato DIN A3), conectada, a través de un interfaz serie RS 232-C, con un ordenador IBM PS/2 modelo 70. Sobre la superficie de la tableta digitalizadora se proyectaron y midieron todas y cada una de las diapositivas (derecha e izquierda) de las cuatro superficies articulares de cada espécimen. El proceso se realizó independientemente para cada una de las series (cámara izquierda-cámara derecha) del mismo estudio. Las coordenadas medidas sobre la

tableta digitalizadora fueron procesadas con el algoritmo de reconstrucción tridimensional descrito en el trabajo "Reconstrucción tridimensional para el estudio funcional de articulaciones"⁽⁹⁾, con el que se obtienen las coordenadas tridimensionales de cada uno de los puntos marcados en cada superficie articular.

Como hipótesis de trabajo se decidió asemejar las superficies articulares a una figura geométrica simple que pudiera ser estudiada más fácilmente, y se eligió un cilindro, aunque hay autores que las asemejan a un tronco de cono, si bien en último extremo un tronco de cono no es más que un cilindro con características especiales. Se determinó la ecuación (eje y radio) del cilindro que más se aproximaba a cada una de las superficies articulares de cada espécimen. Utilizando el algoritmo DOWNHILL SIMPLEX, se minimizó la función: $F = (d_i - r)^2/e_i^2$; donde "r" es el radio del cilindro propuesto, "d_i" la distancia de cada punto al eje de dicho cilindro y "e_i" es proporcional al error cometido en la determinación de las coordenadas de cada punto de la superficie articular. Con este procedimiento se obtienen el eje y radio del cilindro que más se aproximan a los puntos marcados en la superficie articular, y el error cuadrático medio de los residuales como expresión de la bondad del ajuste.

RESULTADOS

Ninguna de las superficies articulares estudiadas es un cilindro, como se aprecia en la **Tabla V**.

El radio del cilindro al que se ajustaron las superficies articulares del astrágalo era mayor en la anterior en cinco y en la posterior en dos. En el calcáneo, era mayor en la anterior en seis y en la posterior en una.



Figura 7. Imagen obtenida por el procedimiento descrito, con la cámara situada a la izquierda.

Figure 7. Image recorded using the procedure described with the photographic camera on the left side.

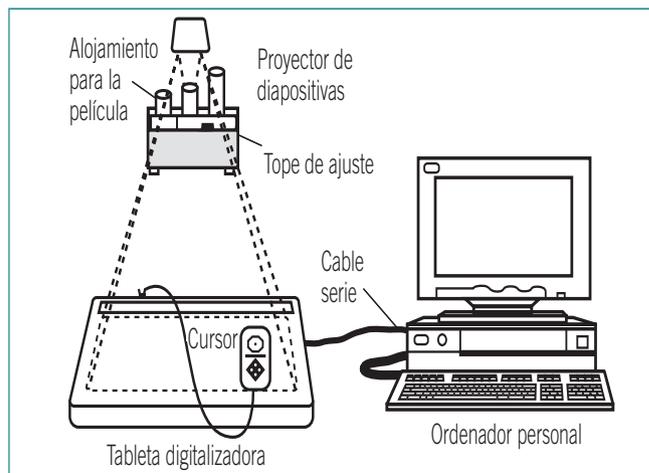


Figura 8. Esquema del montaje para la digitalización.

Figure 8. Schematic representation of the digitalisation array.

Estudiando los radios del cilindro al que se ajustaron las superficies articulares de la subastragalina anterior, se apreció que el radio obtenido es mayor en el calcáneo en cuatro, y en el astrágalo en uno. Las dimensiones de estos radios se encontraban entre 19 y 31 mm. La diferencia de los radios entre el lado astragalino y el calcáneo iba desde la identidad de estos al caso extremo de una diferencia de 8 mm.

En la subastragalina posterior, el radio obtenido es mayor en el lado astragalino en cinco y en el lado calcáneo en uno. Tanto en un hueso como en el otro, el radio se encuentra entre 18 y 28 mm. La diferencia de los radios entre estas superficies articulares va desde la identidad de estos hasta una diferencia de 6 mm.

Se representó gráficamente el eje de cada cilindro al que se ajustó cada superficie articular (**Figuras 9 y 10**).

DISCUSIÓN

Gómez Pellico y cols.⁽¹⁰⁾ estudiaron la superficie articular astragalina del escafoides, utilizando otro método; encontraron que era parte de una esfera; Samuelson y cols. estudiaron las superficies articulares de la articulación astrágalo-escafoidea, con un método muy semejante al de los autores anteriores, y observaron gran semejanza con una esfera.

Ninguno de ellos investigó las superficies articulares de la subastragalina anterior.

Algunos autores describen las superficies articulares de la subastragalina posterior como parte de un cilindro; otros la describen como parte de un cono de vértice antero-interno; y otros, por último, se limitan a decir que son superficies cóncavas y convexas. Hay que tener en

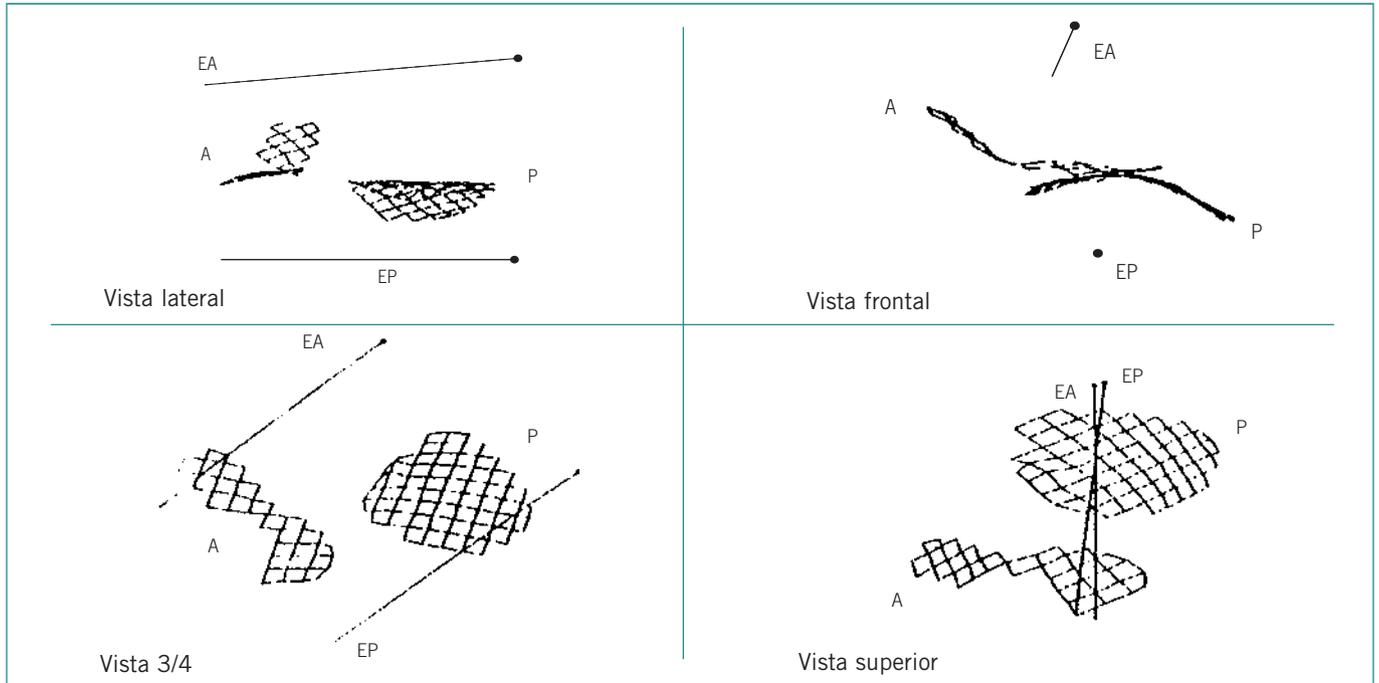


Figura 9. Calcáneo 35. Ejes de los cilindros ajustados a cada una de las superficies articulares. Se ha tomado como referencia el eje de la carilla posterior. A: Carilla anterior; EA: Eje carilla anterior; P: Carilla posterior; EP: Eje carilla posterior.
Figure 9. Calcaneus No. 35. Axes of the cylinders fitted to each of the angular surfaces. The axis of the posterior facet has been taken as the reference. A: Anterior facet; EA: Axis of the anterior facet; P: Posterior facet; EP: Axis of the posterior facet.

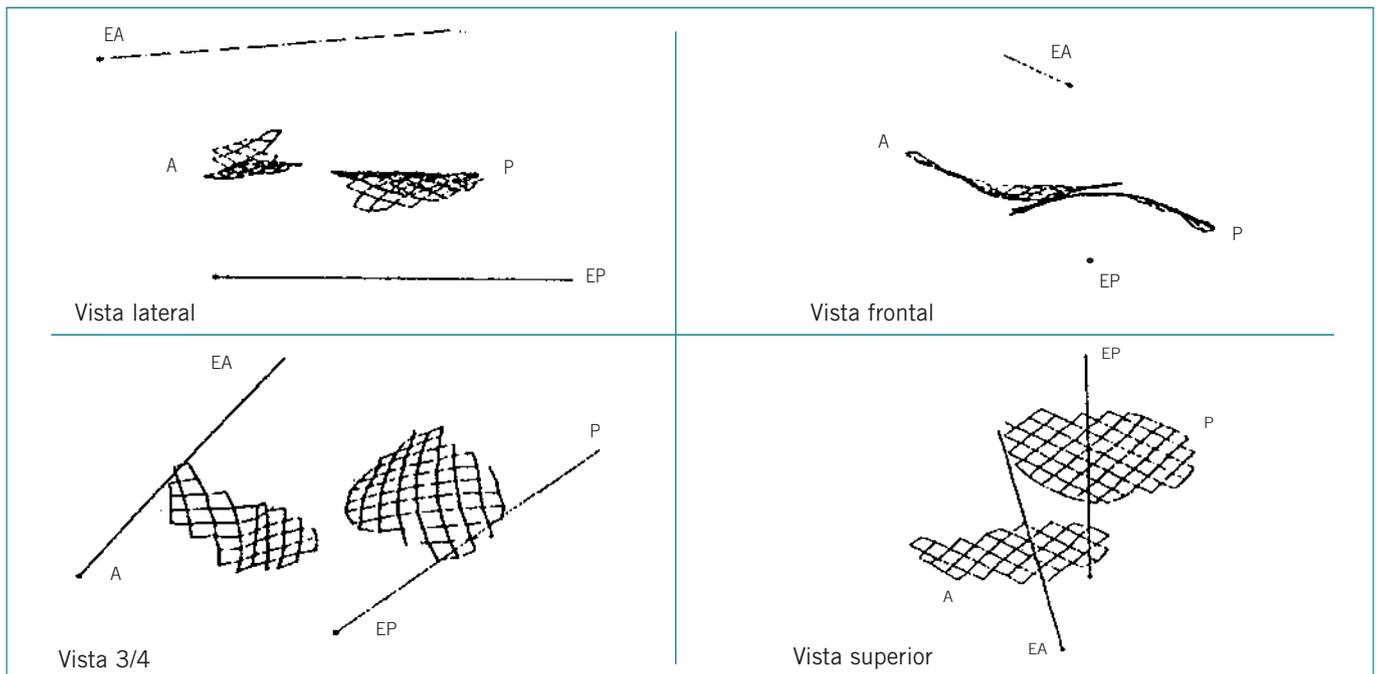


Figura 10. Astrágalo 35. Ejes de los cilindros ajustados a cada una de las superficies articulares. Se ha tomado como referencia el eje de la carilla posterior. A: Carilla anterior; EA: Eje carilla anterior; P: Carilla posterior; EP: Eje carilla posterior.
Figure 10. Talus No. 35. Axes of the cylinders fitted to each of the angular surfaces. The axis of the posterior facet has been taken as the reference. A: Anterior facet; EA: Axis of the anterior facet; P: Posterior facet; EP: Axis of the posterior facet.

Tabla V. Valores del radio y del error cuadrático medio (e.c.m.) asociado a su determinación en mm

Espécimen	Carilla	Radio	e.c.m.	Radio	e.c.m.	Carilla	Espécimen
35	AA	28	0,5	28	0,5	CA	35
	AP	20	0,4	22	0,3	CP	
39	AA	24	0,7	27	0,5	CA	36
	AP	20	0,4	20	0,4	CP	
37	AA	31	0,4	31	0,4	CA	37
	AP	22	0,5	19	0,4	CP	
38	AA	25	0,4	31	0,4	CA	38
	AP	24	0,5	18	0,5	CP	
39	AA	28	0,5	20	0,5	CA	39
	AP	24	0,4	22	0,3	CP	
40	AA	25	0,3	27	0,3	CA	40
	AP	28	0,3	26	0,3	CP	
41	AA	17	0,5	23	0,6	CA	41
	AP	20	0,5	18	0,7	CP	

AA: Astragalina anterior; AP: Astragalina posterior; CA: Calcánea anterior; CP: Calcánea posterior

cuenta que un cilindro y un cono pueden tener mucha similitud, si en este último se toma lo suficientemente lejos el vértice.

Al iniciar esta parte del trabajo, se asumió que las superficies se asemejaban a un cilindro, y se ha intentado demostrar esta hipótesis. Visto el resultado de la reconstrucción tridimensional realizada con estas siete articulaciones, se puede decir que no son cilindros, pero se aproximan mucho.

Orts Llorca describe el radio de ese cilindro con unos valores de 18-25 mm, lo que concuerda con 12 de los 14 radios obtenidos al ajustar las curvas a los cilindros.

La articulación subastragalina anterior ha sido menos estudiada, por el hecho de pertenecer desde un punto de visto fisiológico a la articulación mediotarsiana, y estar envuelta por su sinovial y cápsula, asemejándola siempre a una esfera, que es la forma que tiene la cabeza del astrágalo, y sobre la que se han tallado sus superficies. Sin embargo, cuando se estudia el lado calcáneo, especialmente cuando la carilla articular es única, se tiene la impresión de que puede corresponder más a un cilindro que a una esfera, y esa fue la hipótesis de partida. Dadas las pequeñas dimensiones de estas superficies articulares, las dificultades en la aplicación del método aumentaron. Desde luego, no son parte de la superficie de un cilindro, pero igualmente se acercan mucho.

Con el método utilizado no es posible superponer las superficies articulares, por carecer de puntos de referencia concretos, y poder ver la congruencia entre un lado y otro; aunque de forma indirecta podemos apreciar que hay superficies articulares con el mismo radio, lo que nos

indica que la congruencia puede ser bastante aproximada; en la mayoría, la diferencia del radio está por debajo de los 3 mm.

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE LA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA POSTERIOR

La articulación subastragalina se lesiona con frecuencia en enfermos afectados de artritis reumatoide, quedando una articulación que es dolorosa y difícil de tratar por métodos no quirúrgicos. Asimismo, en las fracturas talámicas del calcáneo, con frecuencia queda como secuela una articulación subastragalina rígida, dolorosa y que, a veces, la solución es la artrodesis de esta articulación. Una alternativa a esta forma de tratamiento podría ser la sustitución protésica.

La tecnología utilizada en las prótesis de otras articulaciones mayores puede aplicarse de igual forma en el diseño de una articulación como la subastragalina, consiguiendo corregir las deformidades creadas; al mismo tiempo, ha de ser capaz de restaurar la movilidad de esa articulación, preservando así la función normal. También como hipótesis, se pensó que solo era necesario el desarrollo de implantes en los que se sustituirían las superficies articulares, por lo que requerirían una mínima extirpación de hueso, pero se sabe que a veces se producen colapsos importantes del calcáneo, por lo que es aconsejable la utilización de cuñas de levantamiento para conseguir que esta prótesis sea modular en el sentido más amplio. Por todo ello, se prestó especial atención a la forma y tamaño de las superficies articulares, por-

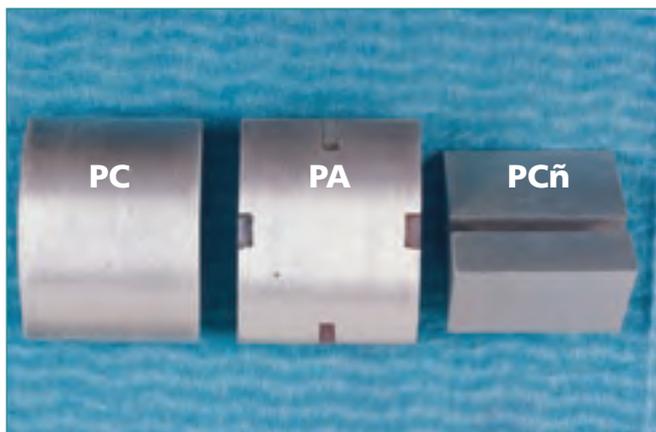


Figura 11. Prótesis vista por su cara superior. PA: Componente astragalino; PC: Componente calcáneo; PCñ: Componente cuña modular.

Figure 11. The finished prosthesis, upper aspect. PA: Talar component; PC: Calcaneal component; PCñ: Modular wedge component.

que estos parámetros son determinantes primarios de la movilidad articular. Como primera aproximación al diseño de una prótesis, debe aceptarse que la sustitución de las superficies articulares ha de tener un radio de curvatura, una longitud del arco y un área semejantes a la superficie de la articulación natural⁽¹⁾. Con el número de especímenes estudiados, se realizó el diseño de una prótesis total de la articulación subastragalina posterior, pero es evidente que se necesitaría el estudio de un número mayor, para poder establecer los distintos tamaños de prótesis a

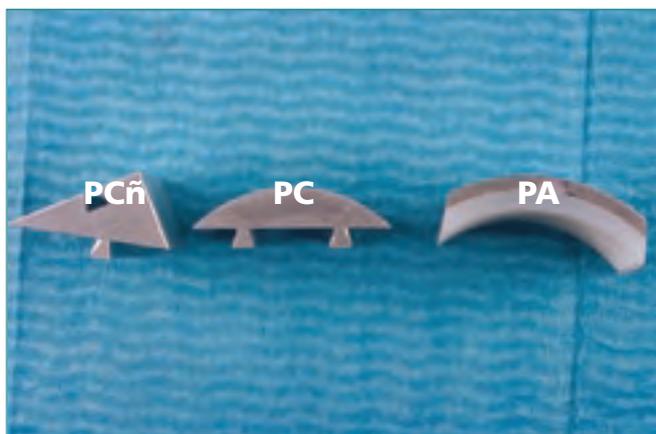


Figura 13. Prótesis vista por su cara lateral. PA: Componente astragalino; PC: Componente calcáneo; PCñ: Componente cuña modular.

Figure 13. The disassembled finished prosthesis, lateral aspect. PA: Talar component; PC: Calcaneal component; PCñ: Modular wedge component.

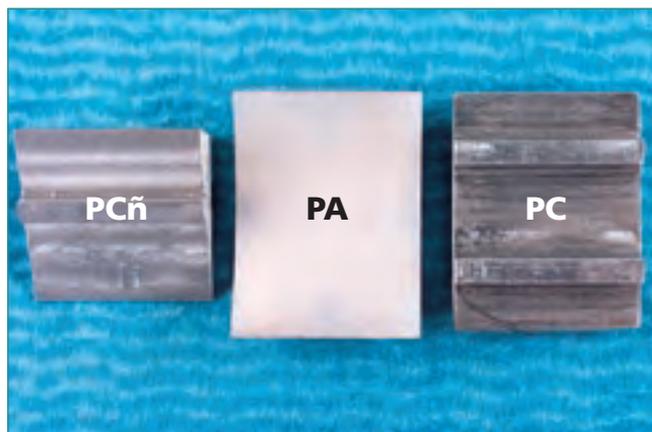


Figura 12. Prótesis vista por su cara inferior. PA: Componente astragalino; PC: Componente calcáneo; PCñ: Componente cuña modular.

Figure 12. The finished prosthesis, inferior aspect. PA: Talar component; PC: Calcaneal component; PCñ: Modular wedge component.

fabricar, cubrir las posibles variables en las dimensiones de esta articulación y, sobre todo, relacionar en la radiografía lateral la longitud del calcáneo con el tamaño de la prótesis que habría que implantar.

Se diseñó una prótesis (Figuras 11, 12 y 13), que sería parte de la superficie de un cilindro macho, para el componente calcáneo y, por tanto, métrico, con un radio de 22 mm y una longitud de su base de apoyo de 31 mm en sentido antero-posterior, y de 24 mm en sentido medio-lateral, según los datos obtenidos en los estudios anatómicos descritos en capítulos anteriores. Se demostró que la forma final fue ovoidea. La base de este componente de la prótesis, para que pueda tener una sujeción adecuada, lleva dos raíles de forma trapezoidal al corte de 3 x 3 x 2 mm, que irían hundidos en el esponjoso del calcáneo. Además, se diseñó una cuña de la misma anchura, es decir, de 24 mm, que al corte es un triángulo rectángulo, con un raíl idéntico en la parte que corresponde a la hipotenusa, y un hueco para el raíl del componente calcáneo, en el cateto que se apoya sobre esta base. Los ángulos de esta cuña son de 90°, 30° y 60°; los lados miden 22, 14 y 26 mm. La función de esta cuña es la de servir de módulo para poder colocar el componente calcáneo en la posición correcta, en caso de que se produzca un hundimiento del mismo, de modo que pueda insertarse en cualquiera de los dos raíles, según el hundimiento sea anterior o posterior. El componente astragalino tiene igualmente la forma de un cilindro (en este caso hembra) de polietileno, con el mismo radio y forma que el componente calcáneo. La superficie de polietileno tiene un soporte metálico para evitar la excesiva deformación plás-

tica que puede producirse entre polietileno y cemento. La porción de polietileno es de un espesor de 3 mm, con una protusión en el lado opuesto a la superficie articular de 4 x 2 mm en los cuatro bordes que sirven de nexo de unión con la porción metálica, de 2 mm de espesor y con muescas de dimensiones similares a las protusiones del polietileno, aunque algo menores, para que quede bien sujeto el polietileno al unirse ambas porciones. La parte metálica de este componente en su porción externa debe ser rugosa para una mejor fijación con cemento.

CONCLUSIONES

1. La forma de las superficies articulares posteriores del astrágalo y del calcáneo son ovales.
2. Las áreas de las superficies articulares anteriores y posteriores del astrágalo y del calcáneo son semejantes.
3. Existe correlación entre la longitud del calcáneo tomada en una radiografía lateral y la longitud del arco de la carilla articular calcánea posterior.
4. Las superficies articulares posteriores del astrágalo y del calcáneo no son superficies cilíndricas, pero se asemejan mucho. El radio de dicho cilindro va de 18 a 25 mm en las articulaciones estudiadas.
5. Se ha diseñado y fabricado una prótesis modular para la articulación subastragalina posterior.

BIBLIOGRAFÍA

1. Daniels, A.U., Samuelson, K.M. y Rusin K.A.: Talonavicular joint surface anatomy and prototype resurfacing prostheses. *Foot & Ankle* 2:5-14, 1981.
2. Paturet, G.: *Traité d'Anatomie humaine*. Tomo II Masson & Cie. Editeurs, Paris, 714-725, 1951.
3. Rouvière, H: *Anatomía humana descriptiva y topográfica*. Tomo III, 8ª edición. Casa editorial Bailly- Bailliere S.A., Madrid, 317-322, 1967.
4. Orts Llorca, F.: *Anatomía humana*. Tomo I. 2ª Edición. Editorial Científico-Médica, Barcelona, 427-429, 1959.
5. Testut, L., Latarjet, A: *Tratado de Anatomía humana*. Tomo I, 9ª edición, Salvat Editores, S.A., Barcelona, 719-722, 1977.
6. Kapandji, I.A.: *Cuadernos de fisiología articular*. Cuaderno II. Toray-Masson, Barcelona, 150-163, 1977.
7. De Donker: *Biomécanique du pied*. *Ann. Kinésithér.* 8: 379-394, 1981.
8. Bouchet, A y Cuilleret, J: *Anatomía descriptiva, topográfica y funcional*. Miembros inferiores. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires. 247-249, 1979.
9. Pérez Muñoz, R.: *Reconstrucción tridimensional para el estudio funcional de articulaciones*. Tesis doctoral, 1990.
10. Gómez Pellico, L., Negueruela Ugarte, J., y Ramirez Ortíz, G.: *Mecánica del pie*. *Rev. Ortop. Traum.* XVII- IB, 51-74, 1973.