

Cambios morfológicos del fémur con el sexo y la edad. Estudio con TAC

J. Pueyo^a, P. Ripalda^b y F. Forriol^b

^aServicio de Radiodiagnóstico, Clínica Universitaria. ^bLaboratorio de Ortopedia Experimental, Facultad de Medicina, Universidad de Navarra.

Objetivo. Estudiar los cambios de la forma del fémur, con la edad, en varones y mujeres.

Material y método. Análisis del fémur derecho, con tomografía axial computarizada (TAC), en personas sin patología musculoesquelética conocida, en las secciones correspondientes, de proximal a distal, al 10%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50% y 75% de la longitud femoral. Analizando en cada una de las secciones los diámetros mayores y menores, externos e internos o del canal medular; las superficies corticales y medulares y las relaciones entre los diámetros, en los diferentes grupos de edad, en ambos sexos.

Resultados. No se encontraron diferencias de la forma ni del tamaño del fémur con la edad entre sujetos del mismo sexo. Los hombres presentaron valores superiores a las mujeres en todos los parámetros estudiados. La superficie del canal medular fue semejante en ambos sexos y en todos los grupos de edad en cada una de las secciones estudiadas.

Palabras clave: fémur, envejecimiento, osteoporosis, TAC.

La forma y la arquitectura del hueso es hereditaria, aunque su configuración interna varía con las solicitudes a las que se ve sometido durante su desarrollo para obtener la máxima resistencia con el menor material. Cada hueso está diseñado para desarrollar sus funciones lo mejor posible, aunque los factores genéticos son los responsables de la forma externa básica y de la organización celular y vascular primaria. Una prueba de ello es la localización constante, en cada hueso, de la posición del agujero nutricio¹. Sin embargo, los factores mecánicos²⁻⁵ y otros como el sistema ner-

Morphological changes in the femur in relation to sex and age. CT scan study

Objective. To study the changes that the femur experiences in relation to age in men and women.

Materials and methods. CT scans of the right femur, in persons without no known musculoskeletal disease, in the sections corresponding, proximally to distally, to 10%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50% and 75% of femur length were analyzed. In each section, the greater and lesser diameters, external and internal diameters, medullary canal, cortical and medullary surfaces, and relations between diameters in different age groups were studied in both sexes.

Results. No differences were found in the shape or size of the femur with age in subjects of the same sex. Men had higher values than women for all study parameters. The surface of the medullary canal was similar in both sexes and in all the age groups for each section studied.

Key words: femur, aging, osteoporosis, CT scan.

vioso central⁶, la dieta⁴, las hormonas^{7,8}, pueden modificar la estructura del tejido óseo.

Es conocido que la masa ósea disminuye con la edad y es una de las causas del aumento de las fracturas en personas de edad avanzada en los países industrializados. Se ha señalado que la mayor incidencia de fracturas en mujeres mayores se debe, entre otros factores, a que éstas tienen menor capacidad para aumentar el diámetro externo de sus huesos con la edad que los hombres^{9,10}. La pérdida de mineral óseo comienza hacia los 30 años de edad, siendo la disminución de hueso cortical, en ambos sexos, entre el 0,3%-0,5% por año a partir de los 40 años de edad, aunque la pérdida de hueso esponjoso comienza unos 10 años antes que la del hueso cortical¹¹.

También hay que tener en cuenta que a partir de la cuarta década disminuye la fuerza muscular, lo que se acompaña de una disminución de la masa muscular¹² que puede explicar la disminución de la masa ósea al mermar las solicitudes que actúan directamente sobre el hueso¹³⁻¹⁵.

Correspondencia:

F. Forriol
Dpto. C. Ortopédica y Traumatología
CUN
Avda. Pío, XII, s/n
31008 Pamplona

Recibido: julio de 2002.

Aceptado: enero de 2003.

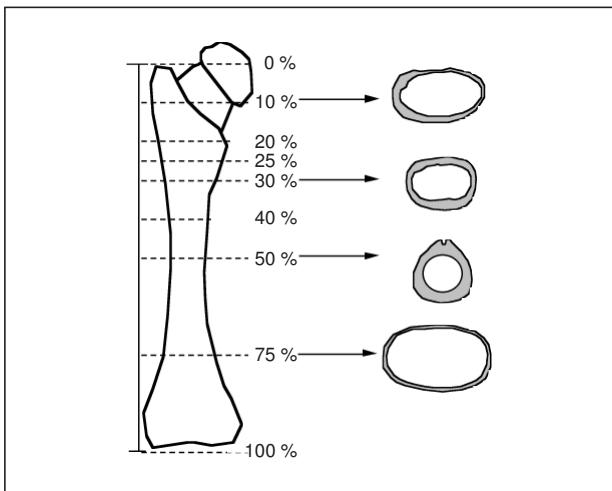


Figura 1. Esquema de las secciones medidas en el fémur correspondientes a los diferentes porcentajes de la longitud del hueso.

Una menor masa muscular beneficia a las personas de más edad, pues el esqueleto puede hacer el efecto de soporte con menos material y requerirá menor gasto energético, pero también tiene el inconveniente de presentar menos resistencia a las solicitudes mecánicas¹⁵.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la morfología femoral con tomografía axial computarizada (TAC) para determinar la modificación de sus dimensiones con la edad y el sexo.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó una TAC (Siemens Somaton Plus 4, Siemens, Erlangen, Alemania) del fémur en 169 personas (80 hombres y 89 mujeres) que no padecían alteraciones del sistema musculoesquelético. Se cubrió toda la longitud del fémur, incluyendo las articulaciones de la cadera y de la rodilla. La espiral se obtuvo con un grosor de corte de 10 mm y un avance de mesa con rotación de la corona de detectores de 10 mm, correspondiendo a un *pitch* de 1. Se empleó un tiempo de rotación de un segundo, con parámetros de 140 kV y 94 mA. Las imágenes se reconstruyeron con un incremento de 10 mm y un algoritmo AB70 para tejidos sólidos de alta resolución. Para una adecuada valoración de las imágenes obtenidas se utilizó una ventana con un centro de 300 unidades Hounsfield (UH) y una amplitud de 1.400 UH, lo que puso de manifiesto las estructuras óseas (ventana ósea).

Se midió el fémur derecho en todas las personas en decúbito supino y sobre el topograma se calculó la longitud del fémur, desde el punto más proximal del trocánter mayor al punto más distal del cóndilo femoral externo. Se midieron, de proximal a distal, las secciones transversales correspondientes al 10%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50% y 75% de

la longitud total del fémur. Se analizó más detalladamente la porción proximal del fémur por el interés para el diseño e implantación de prótesis de cadera (fig. 1).

Los varones y mujeres estudiadas se dividieron en tres grupos, según la edad:

- 1) Grupo I: hasta 35 años de edad.
- 2) Grupo II: de 36 a 55 años de edad.
- 3) Grupo III: mayores de 56 años de edad.

La edad media del grupo I fue en las mujeres y en los varones muy semejante (21 años). En el grupo II la edad media de las mujeres fue de 46 años, y de los varones 48 años. En el grupo III la edad media de las mujeres fue de 67 años y 68 años en los varones.

Los parámetros estudiados en cada una de las secciones fueron (figs. 2 y 3):

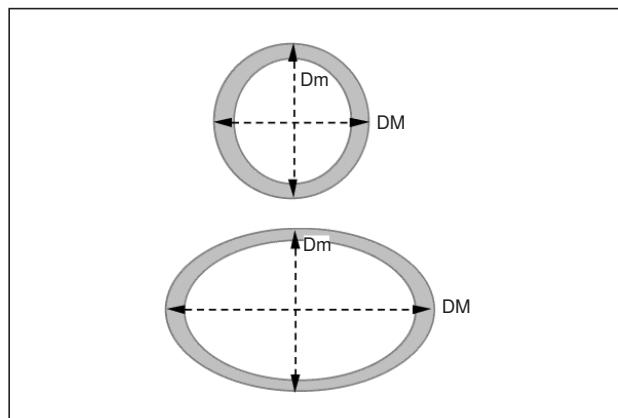


Figura 2. El índice de circularidad (externo o del canal medular) de una sección es la relación entre sus diámetros menor y mayor. Cuanto más próximo a 1, los diámetros serán más parecidos y por tanto más circular el contorno de la sección. DM: diámetro mayor; Dm: diámetro menor.

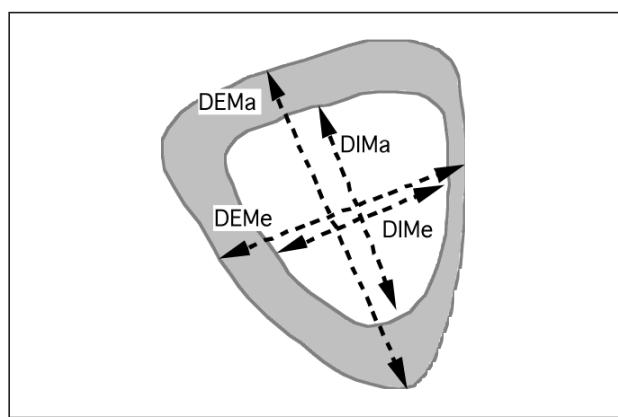


Figura 3. Sección femoral. Medición de los diámetros. DEMa: diámetro externo mayor; DIMa = diámetro interno o del canal medular mayor; DEMe: diámetro externo menor; DIME: diámetro interno o del canal medular menor. En gris la superficie cortical y en blanco la superficie del canal medular en una sección.

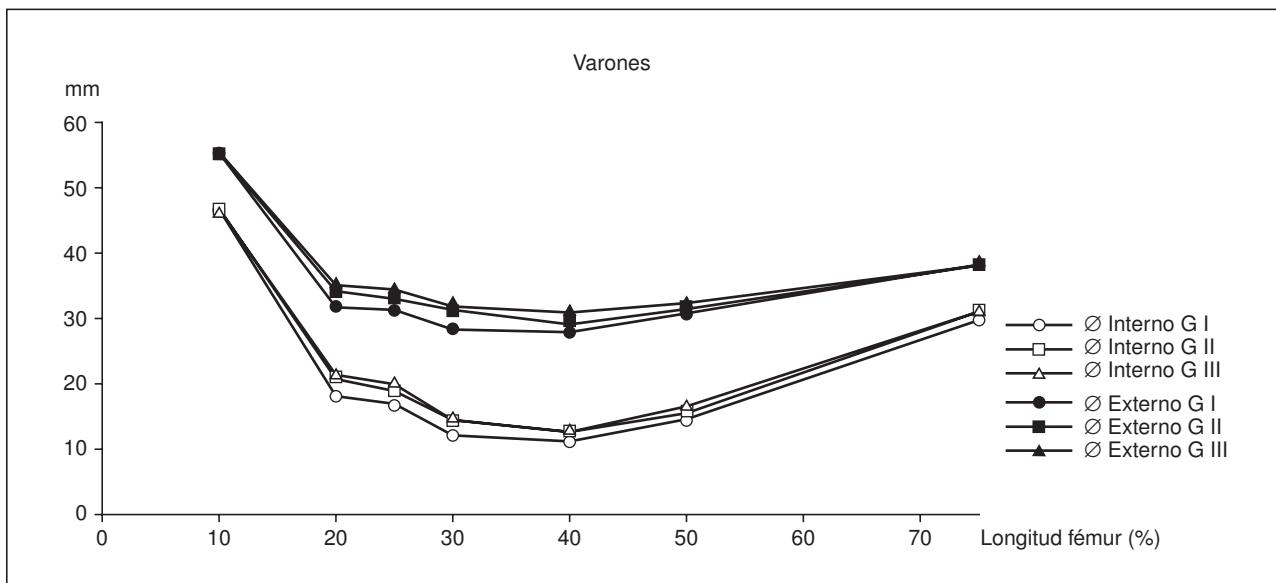


Figura 4. Diámetros mayores, externo e interno, del fémur en varones de diferentes grupos de edad; mm: milímetros; G: grupo.

1) Diámetro mayor del canal medular (mm); 2) diámetro mayor externo (mm); 3) diámetro menor del canal medular (mm); 4) diámetro menor externo (mm); 5) anchura de corticales (diámetro mayor externo - diámetro mayor interno) (mm); 6) diámetro menor interno/diámetro mayor interno, o índice de circularidad del canal medular; 7) área medular (mm^2); y 8) área cortical (mm^2).

Se efectuó un estudio estadístico descriptivo de cada uno de los parámetros, comparando cada uno de ellos, entre los diferentes grupos de edades y en ambos sexos mediante la prueba de la «t» de Student.

RESULTADOS

En el diámetro mayor externo se obtuvieron diferencias entre los varones y las mujeres en la primera porción del fémur (10%) sin encontrar diferencias entre los grupos de edad. Los valores fueron semejantes entre el 20% y el 50% y superiores en el 75%, siendo siempre mayores en los varones. Con el diámetro mayor interno o del canal medular se encontraron diferencias entre los varones y las mujeres en la sección más proximal, correspondiente al 10% de la longitud del fémur. No se vieron diferencias entre los grupos de edad.

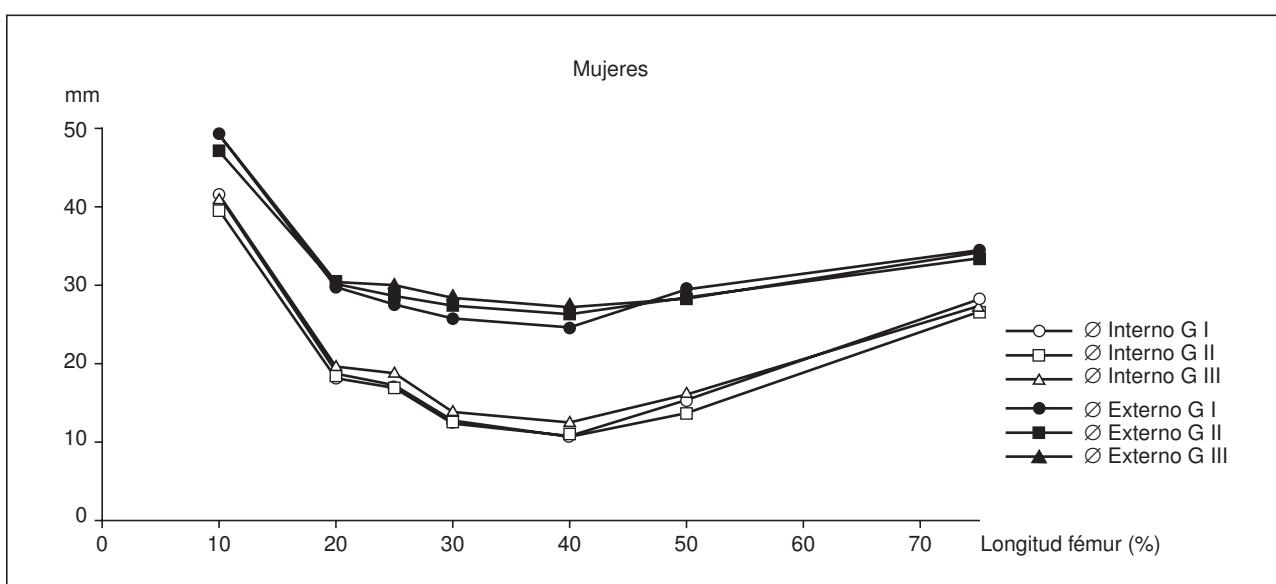


Figura 5. Diámetros mayores, externo e interno, del fémur en mujeres de diferentes grupos de edad; mm: milímetros; G: grupo.

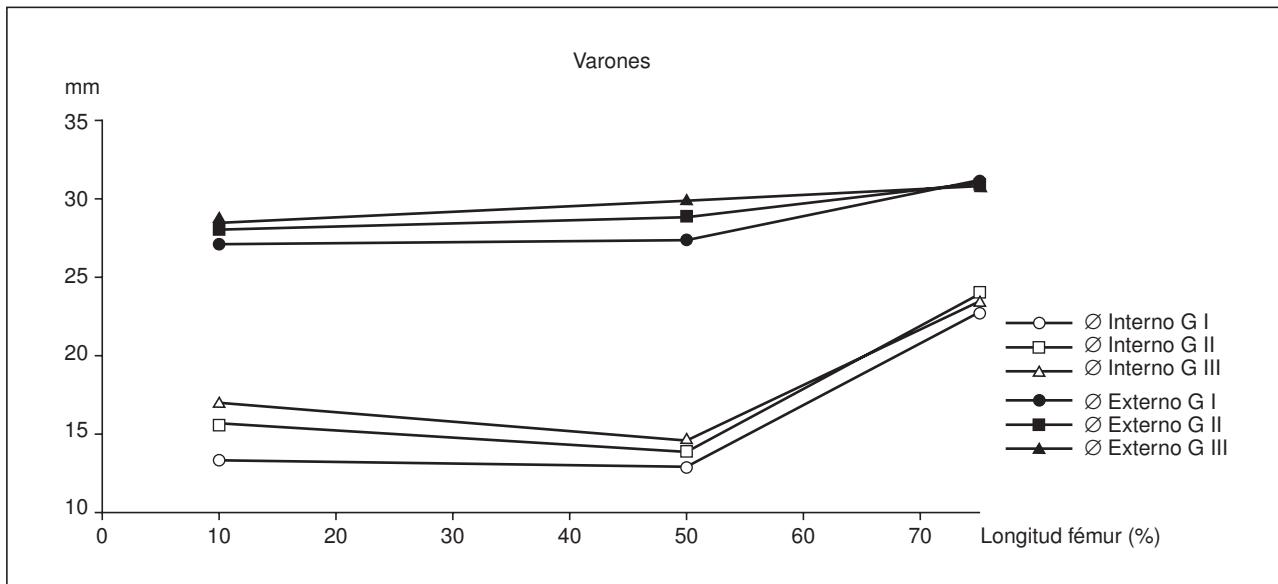


Figura 6. Diámetros menores, externo e interno, del fémur en varones de diferentes grupos de edad; mm: milímetros; G: grupo.

Los valores del resto de las secciones siguieron el mismo comportamiento en varones y mujeres, en todos los grupos de edad, descendiendo progresivamente hasta la sección correspondiente al 40% de la longitud del fémur y aumentando en la sección del 75% de la longitud femoral (figs. 4 y 5).

El comportamiento del diámetro menor del canal medular fue muy semejante al parámetro anterior, mientras que el diámetro menor externo presentó unos resultados ligeramente mayores en los varones y mostró mucha variabilidad entre los grupos de edad, especialmente en la sección del 50% de la longitud del hueso (figs. 6 y 7).

La anchura de las corticales en la sección más proximal (10%) y más distal (75%) de la longitud del fémur fueron muy parecidas en varones y mujeres. En ambos sexos y en todos los grupos de edad aumentaron progresivamente entre la sección correspondiente al 10% hasta el 40% de la longitud femoral, siendo todos los valores mayores en los varones (fig. 8). En la zona de mayor del grosor cortical se encontró una ligera disminución no significativa en los grupos de más edad.

Las mujeres jóvenes presentaron un índice de circularidad muy parecido en todas las secciones de la longitud fe-

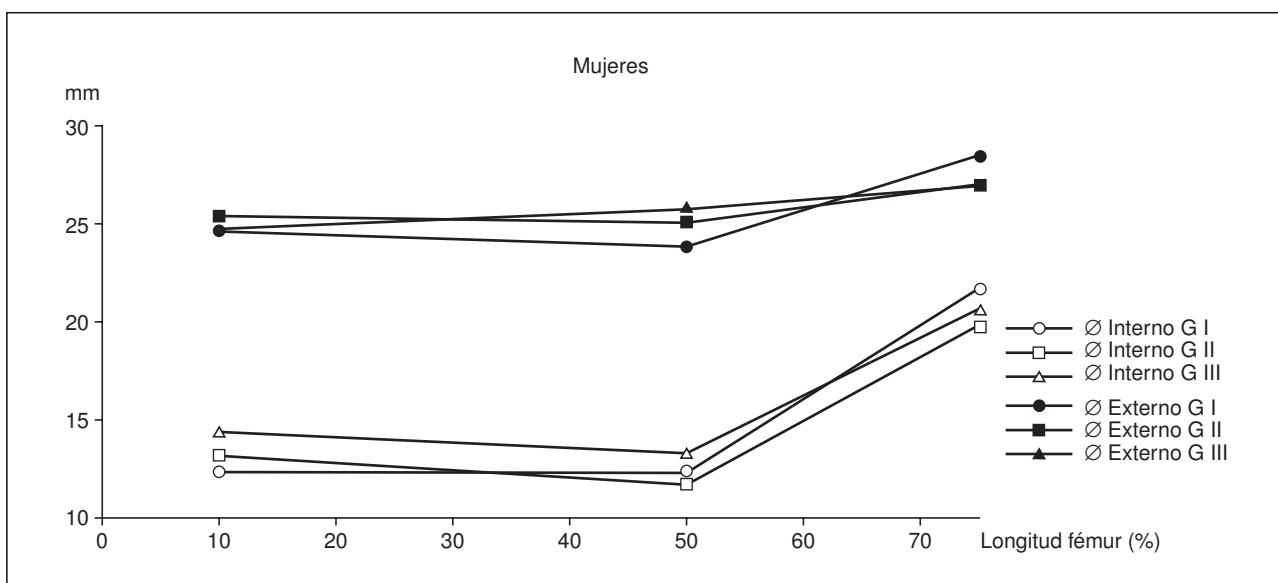


Figura 7. Diámetros menores, externo e interno, del fémur en mujeres de diferentes grupos de edad; mm: milímetros; G: grupo.

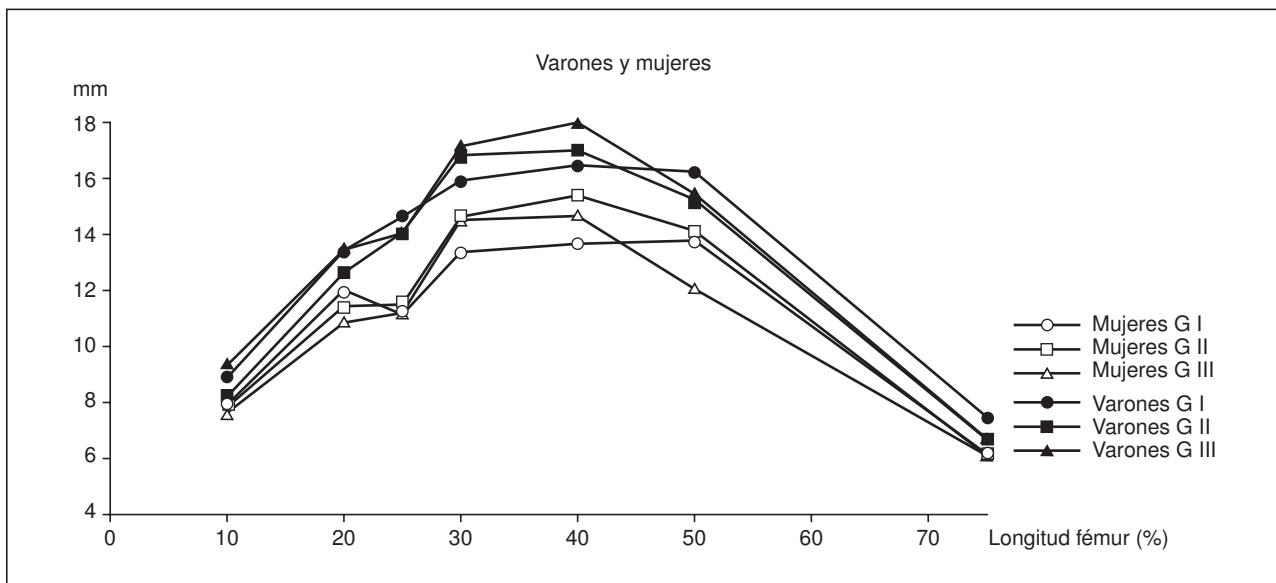


Figura 8. Anchura de la cortical femoral, en varones y mujeres, de diferentes grupos de edad; mm: milímetros; G: grupo.

moral. En el resto de los grupos, en ambos sexos, se observó un comportamiento muy semejante, con ligero aumento del índice de circularidad entre el 25% y el 50% de la longitud femoral (fig. 9).

El área femoral o superficie ósea externa no mostró diferencias entre las edades y los sexos. Fue mayor, sin embargo, en los varones, especialmente en la sección más proximal, la del 10% de la longitud femoral, luego descendió, en ambos sexos, siendo muy similar en el resto de las secciones. En ambos sexos y en todos los grupos de edad fue menor en la sección de la mitad de la diáfisis (fig. 10).

El área cortical fue superior en los hombres con valores muy semejantes en todas las secciones. El grupo de mujeres de mayor edad presentaron resultados ligeramente inferiores, pero no significativos. Los valores fueron semejantes en las secciones del 25% y el 50% de la longitud del fémur para disminuir en la sección correspondiente al 75% de la longitud femoral (fig. 11).

El área de las secciones del canal medular siguieron el mismo comportamiento que el parámetro anterior. Fue mayor en los varones, especialmente en las secciones del 10% y del 20% de la longitud femoral. En el resto de las secciones

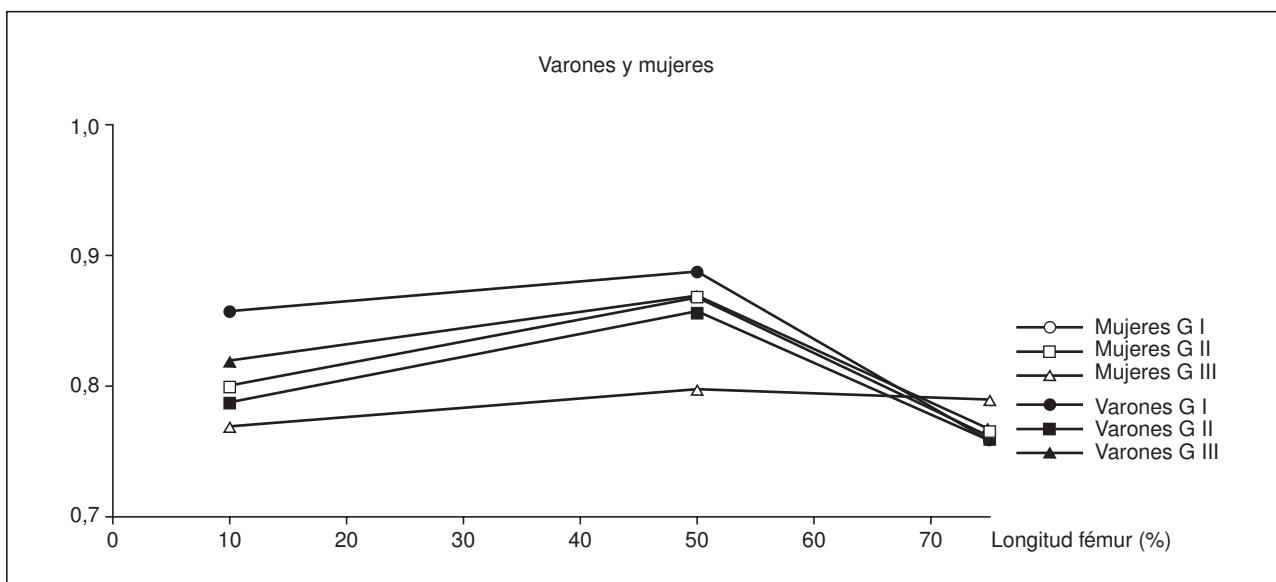


Figura 9. Índice de circularidad medular, en varones y mujeres, de diferentes grupos de edad; G: grupo.

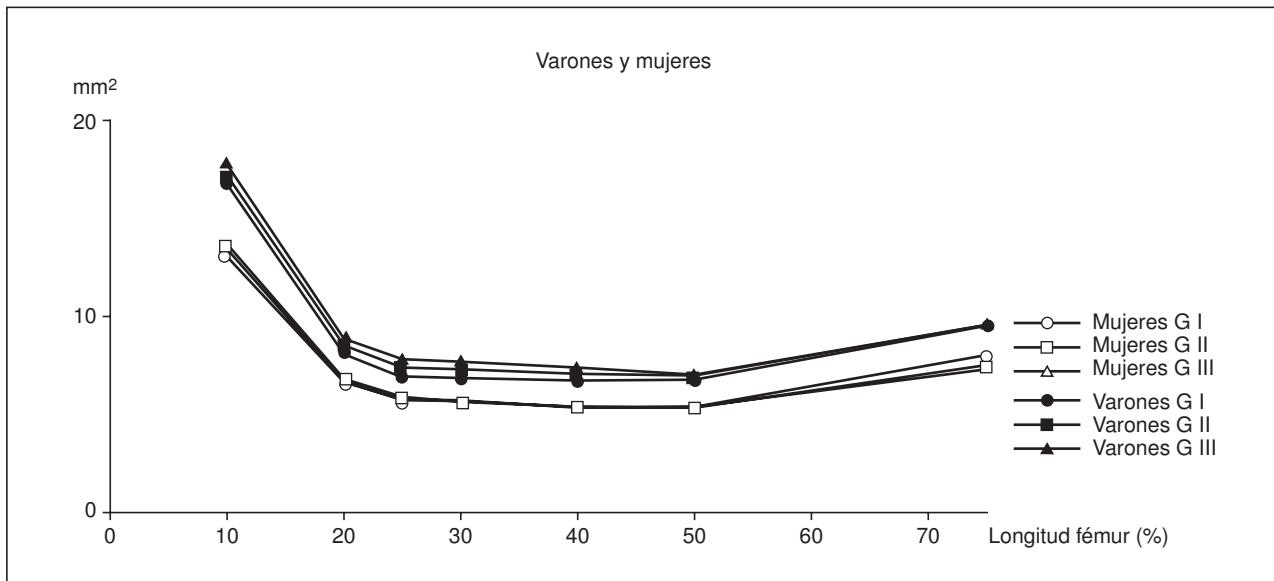


Figura 10. Área femoral total, en varones y mujeres, de diferentes grupos de edad; mm²: milímetros cuadrados; G: grupo.

los valores fueron muy semejantes. El área fue mayor en la sección del 10%, descendiendo en la correspondiente al 20% y estabilizándose a partir del 30% de la longitud del fémur para aumentar de nuevo en la sección metafisaria distal correspondiente al 75% de la longitud total del fémur (fig. 12).

DISCUSIÓN

La TAC se ha utilizado para el estudio morfológico de los huesos en pacientes, y también sobre huesos de cadáver

o esqueletos arqueológicos¹⁶⁻²⁰. Sumner et al²¹ determinaron los errores en las mediciones con TAC, viendo que la grasa medular no afecta a las mediciones medulares. Por su parte, Woolson et al²⁰ demostraron que, en hueso de cadáver, las dimensiones externas de un hueso eran 3 mm mayores en la TAC, mientras que las mediciones en el canal medular eran menores que en la realidad. Rubin et al²² en 32 fémures de cadáver compararon las mediciones obtenidas con radiografías y la TAC. La diferencia media de los valores entre la radiografía y la realidad fue de 2,5 mm mientras que la TAC era mucho más precisa, 0,8 mm. Los mayores errores

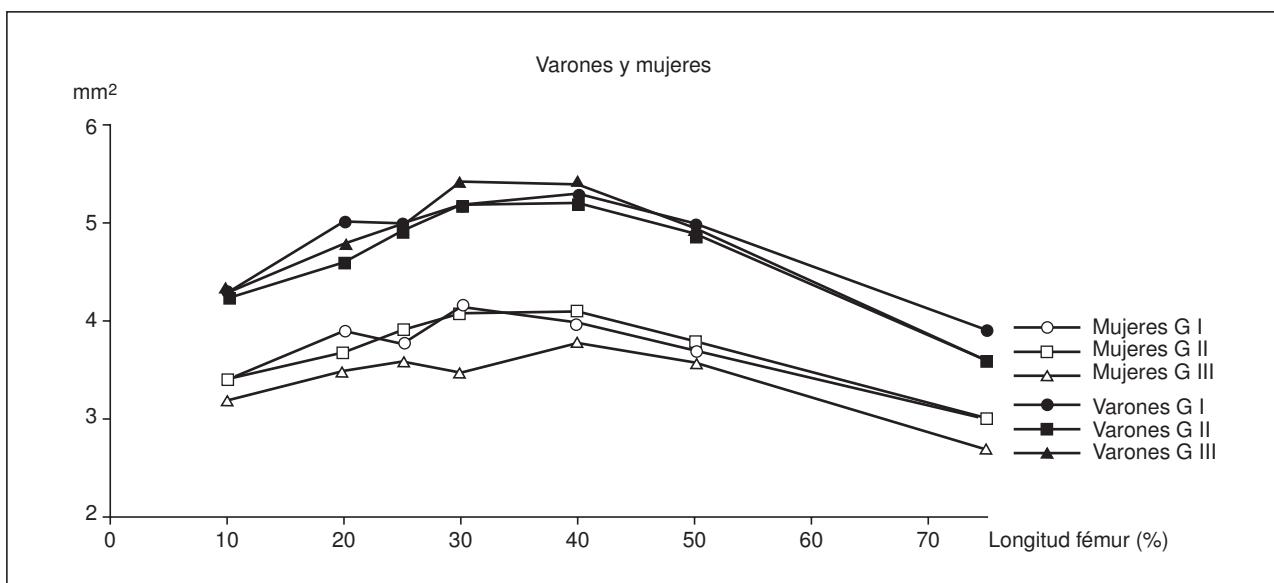


Figura 11. Área cortical femoral, en varones y mujeres, de diferentes grupos de edad; mm²: milímetros cuadrados; G: grupo.

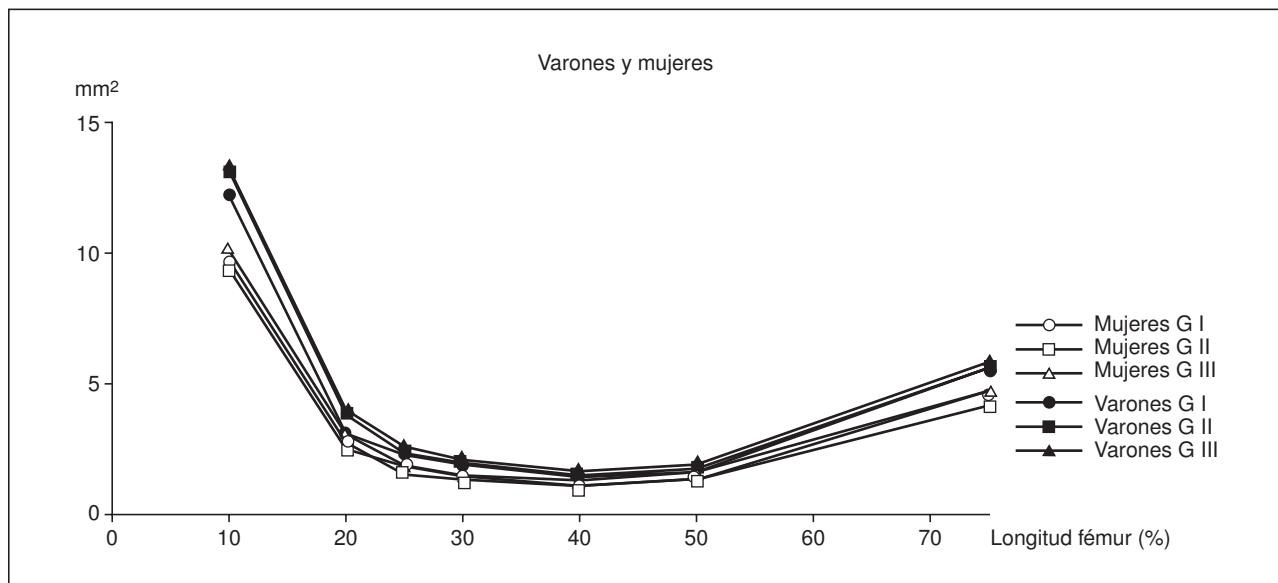


Figura 12. Área medular femoral, en varones y mujeres, de diferentes grupos de edad; mm²: milímetros cuadrados; G: grupo.

de la TAC se obtienen cuando el grosor del hueso es inferior a 1,5 mm^{22,23}.

A cualquier edad las mujeres tienen huesos más pequeños y con menor área cortical que los varones¹⁵ y la raza negra tiene huesos mayores que la blanca, aunque el grosor cortical es muy parecido en ambos sexos y razas²⁴. Seeman²⁴ concluye que las dimensiones de los huesos son mayores en los hombres jóvenes que en las mujeres, pero también la carga que deben soportar es mayor aunque la tensión es parecida en ambos sexos.

En nuestro estudio hemos visto que los parámetros obtenidos en los varones son mayores que en las mujeres. El área cortical es mayor en el varón en todas las secciones, siendo el parámetro que ha presentado mayores diferencias entre ambos sexos mientras que el área de las secciones del canal medular es muy semejante entre varones y mujeres de todos los grupos de edad.

No hemos observado cambios en la morfología del fémur con la edad. Con la edad disminuye la actividad sin cambiar la forma ni el tamaño de los huesos que influye sobre la densidad del material, pero no sobre su morfología, aunque hay zonas del fémur, como el cuello anatómico, donde se han señalado diferencias con la edad²⁵. Hay una disminución fisiológica de la densidad con la edad que en el hombre parece consecuencia de la disminución de la formación de hueso mientras que en la mujer, después de la menopausia, resulta de un aumento de la reabsorción ósea²⁶.

Ruff y Hayes²⁷, en una colección de esqueletos arqueológicos observaron un aumento general del área subperióstica total en los hombres con un aumento no significativo en las mujeres, mientras que el área medular crecía con la edad en ambos sexos. Seeman²⁴ sostiene que el tamaño de los hue-

sos aumenta por la aposición perióstica, mayor en los varones que en las mujeres, que compensa la pérdida de hueso en la superficie endostal que es también mayor en el varón que en la mujer, por lo que la pérdida neta de hueso es menor en los hombres que en las mujeres.

En nuestro estudio, como también señalaron otros autores²⁸, el aumento del diámetro externo es tan pequeño que no se puede medir y rompe con el esquema clásico de un hueso cuyas secciones disminuyen de grosor con la edad. Hemos visto cómo la forma del fémur permanece inalterable, y lo que varía con la edad es la cantidad de mineral óseo que contiene.

La forma de un hueso es en la mayoría de los casos una necesidad mecánica para soportar unas solicitudes específicas para las que está diseñado y presenta mayores dimensiones allí donde es más necesaria la cantidad de tejido óseo. La morfología ósea no se altera con la edad. Antes que modificar su forma aumenta o disminuye la densidad ósea para adaptarse según sus necesidades mecánicas. No podemos olvidar que la rigidez de un objeto está en función del módulo de elasticidad del material y de su geometría, y la rigidez axial del fémur es producto de su módulo de elasticidad y de la geometría de sus secciones transversales²⁹.

BIBLIOGRAFÍA

1. Forriol F, Gómez L, Gianonatti M, Fernández R. A study of the nutrient foramina in human long bones. *Surg Radiol Anat* 1987;9:251-5.
2. Pauwels F. Biomechanics of the locomotor apparatus. Springer Verlag, 1980.

3. Frost HM. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's law: The bone modeling problem. *Anat Rec* 1990;26:403-13.
4. Martin RB. A theory of fatigue damage accumulation and repair in cortical bone. *J Orthop Res* 1992;10:818-25.
5. Carter DR. Mechanical loading history and skeletal biology. *J Biomechanics* 1987;20:1095-109.
6. Haberland M, Schilling AF, Rueger JM, Amling M. Brain and bone: central regulation of bone mass. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83A:1871-6.
7. Gasperino J. Androgenic regulation of bone mass in women. *Clin Orthop* 1995;311:278-86.
8. Vanderschueren D, Bouillon R. Androgens and Bone. *Calcif Tissue Int* 1995;56:341-6.
9. Martin RB, Atkinson PJ. Age and sex-related changes in the structure and strength of the human femoral shaft. *J Biomechanics* 1977;10:223-31.
10. Ruff CB, Hayes WC. Sex differences in age-related remodeling of the femur and tibia. *J Orthop Res* 1988;6:886-96.
11. Poss R. Natural factors that affect the shape and strength of the aging human bone. *Clin Orthop* 1992;274:194-201.
12. Hasegawa Y, Schneider P, Reiners C. Age, sex, and grip strength determine architectural bone parameters assessed by peripheral quantitative computed tomography (pQCT) at the human radius. *J Biomechanics* 2001;34:497-503.
13. Frost HM. Indirect way to estimate peak joint loads in life and in skeletal remains (Insights from a new paradigm). *Anat Rec* 1997;248:475-83.
14. Burr DB. Muscle strength, bone mass, and age-related bone loss. *J Bone Min Res* 1997;12:1547-51.
15. Stein MS, Thomas CDL, Feik SA, Wark JD, Clement JG. Bone size and mechanics at the femoral diaphysis across age and sex. *J Biomechanics* 1998;31:1101-10.
16. Conroy GC, Vannier MW. Noninvasive three dimensional computer imaging of matrix filled fossil skulls by high resolution computed tomography. *Science* 1984;226:456-8.
17. Genant HK, Wilson JS, Bovill EG, Brunelle FO, Murray WR, Rodrigo JJ. Computed tomography of the musculoskeletal system. *J Bone Joint Surg Am* 1980;62A:1088-101.
18. Hsu ES, Patwardhan AG, Meade KP, Light TR, Martin WR. Cross-sectional geometrical properties and bone mineral contents of the human radius and ulna. *J Biomechanics* 1993;26:1307-18.
19. Aamoldt A, Kvistad KA, Andersen E, Lund-Larsen J, Eine J, Benum P, et al. Determination of the Hounsfield value for CT-based design of custom femoral stems. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81B:143-7.
20. Woolson ST, Dev P, Fellingham LI, Vassiliadis A. 3-D imaging of bone from computerized tomography. *Clin Orthop* 1986;202:239-48.
21. Sumner DR, Olson CL, Freeman PM, Lobick JJ, Andriacchi TP. Computed tomographic measurement of cortical bone geometry. *J Biomechanics* 1989;22:649-53.
22. Rubin PJ, Leyvraz PF, Aubaniac JM, Argenson JN, Esteve P, deRoguin B. The morphology of the proximal femur. *J Bone Joint Surg Br* 1992;74B:28-32.
23. Runestead J, Ruff CB, Nieh JC, Torrington RW, MF Teaford. Radiographic estimation of long bone cross-sectional geometric properties. *Am J Phys Anthropol* 1993;90:207-13.
24. Seeman E. During aging, men lose less bone than woman because they gain more periosteal bone, not because they resorb less endosteal bone. *Calcif Tissue Int* 2001;69:205-8.
25. Beck TJ, Ruff CB, Scott WW, Plato CC, Tobin JD, Quan CA. Sex differences in geometry of the femoral neck with aging: a structural analysis of bone mineral data. *Calcif Tissue Int* 1992;50:24-9.
26. Jungers WL, Minns RJ. CT and biomechanical analysis of fossil long bones *Am J Phys Anthropol* 1979; 50:285-90.
27. Ruff CB, Hayes WC. Subperiosteal expansion and cortical remodelling of the human femur and tibia with aging. *Science* 1982;217:945-8.
28. Grüter R, Cordey J, Wahl D, Koller B, Regazzoni P. A biomechanical enigma: Why are tibial fractures not more frequent in the elderly. *Injury* 2000;31(Suppl 3):S72-S7.
29. Sychertz CJ, Topoleski LDT, Sacco M, Engh ChA. Effect of femoral stiffness on bone remodeling after uncemented arthroplasty. *Clin Orthop* 2001;389:218-27.