

J.A. Martín Urrialde¹
L. Fernández Rosa²
T. Pérez Fernández³
J. Portillo Araniz³

¹ Fisioterapeuta.
Prof. Titular de Fisioterapia.
² Prof. Adjunto Doctor.
Dpto. Fisioterapia.
³ Prof. Colaborador.
Dpto. Fisioterapia.
Facultad de Medicina.
Universidad San Pablo CEU.

Correspondencia:
José Antonio Martín Urrialde
Universidad San Pablo CEU
Facultad de Medicina
Dpto. Fisioterapia.
28008 Madrid, España.
E-mail: jamurria@ceu.es

Beneficios de la actividad física sobre aspectos mecánicos óseos: estudio preliminar

Elastic properties of the calcaneus and their variation in populations undergoing physical activity

Fecha de recepción: 22/12/05
Aceptado para su publicación: 3/4/07

RESUMEN

La actividad física impone cambios en las propiedades elásticas y en la densidad del tejido óseo. Utilizando la densitometría ultrasónica del calcáneo, se comprueba la variación del parámetro BUA (*Bone Unit Absortion*), expresión de la densidad ósea, en función de la edad de los sujetos y se comprueba la progresión del valor BUA, como en el grupo de estudio y su disminución en el grupo control. Dado que la principal diferencia entre los grupos estudiados era la intensidad de actividad física realizada, y la densidad mejora según el valor BUA en el grupo de estudio, el resultado final de la investigación es coincidente con otros muchos autores que demuestran la utilidad de la actividad física en la mejora y conservación de la densidad ósea.

PALABRAS CLAVE:

Hueso; Densitometría; Ultrasonido.

ABSTRACT

Physical activity impose changes in bone elastic properties and bone mass. Using Ultrasonic densitometry in calcaneus, was studied Bone Unit Absortion (BUA) in population performing or not physical activity, obtaining increasing BUA values in active population and opposites values in non active population. Results of research shows, as well others author, positive aspects in Physical activity as way to improve and maintain bone density.

KEY WORDS:

Bone mass; Densitometry; Ultrasound.

INTRODUCCIÓN

El hueso es un tejido que está en una constante remodelación a lo largo de la vida del individuo. Está muy vascularizado (recibe alrededor del 10 % del gasto cardíaco) e interviene activamente en la homeostasis, siendo un reservorio de calcio y fosfato para el organismo, además de realizar las funciones de protección de órganos internos y desplazamiento del ser humano¹.

Cuando una onda ultrasónica atraviesa un material pierde parte de su energía por diferentes mecanismos de atenuación, tales como absorción y dispersión. La atenuación total, medida en dB/MHz por centímetro, aumenta proporcionalmente con la frecuencia y con el espesor del material, y, a su vez, cuando la frecuencia se incrementa, la resolución de la imagen aumenta². Este método es el que fundamenta la densitometría ósea ultrasónica (DOU), técnica de elección para la realización de este estudio.

Los parámetros que aportan la DOU son:

– **Velocidad de paso del ultrasonido (VOS):** correspondiente a la velocidad con la que atraviesa el sonido la estructura analizada. Se mide en m/s. Se ha demostrado que existe una relación entre la velocidad de paso de una onda ultrasónica a través de un material y el módulo de elasticidad del mismo, y dado que estos parámetros son particulares de cada material, podemos utilizarlos para su caracterización.

– **Atenuación de la banda ancha ultrasónica (BUA):** cuando una onda ultrasónica atraviesa un material pierde parte de su energía por diferentes mecanismos de atenuación tales como absorción y dispersión. La atenuación total, medida en dB/MHz por centímetro, va a aumentar proporcionalmente con la frecuencia y con el espesor del material. Está vinculada con la densidad y estructura del material, relacionándose en el caso del hueso con la microestructura del mismo³.

SUJETOS Y MÉTODOS

Sujetos de estudio

El estudio se ha efectuado en 88 futbolistas profesionales varones, de la Comunidad de Madrid, en edades com-

prendidas entre los 19 y los 29 años, pertenecientes a equipos de fútbol de 2ª y 3ª División Nacional de Fútbol.

Los criterios de inclusión para este grupo fueron:

- Cumplimentar el Formulario de Salud (fig. 1).
- Desarrollar una actividad física semanal superior a 15 h.
- No padecer ninguna patología local en el calcáneo o en el pie.
- No estar incurrido en ningún tipo de tratamiento físico local en el pie.

Cuatro sujetos fueron descartados al presentar patologías o estar incurridos en tratamientos físicos o medicamentosos durante la realización del estudio.

Los sujetos se distribuyeron en 6 grupos de edad:

- Grupo 1: de 19 a 20 años, con 5 sujetos.
- Grupo 2: de 20 a 22 años, con 22 sujetos.
- Grupo 3: de 23 a 24 años, con 20 sujetos.
- Grupo 4: de 25 a 26 años, con 8 sujetos.
- Grupo 5: de 27 a 28 años, con 27 sujetos.
- Grupo 6: más de 29 años, con 11 sujetos.

Sujetos control

Se escoge a 80 sujetos varones obtenidos de forma voluntaria entre estudiantes y personal de la Universidad San Pablo CEU, agrupados en los mismos grupos de edad que los sujetos objeto de estudio.

El número de sujetos incluidos en cada grupo fue:

- Grupo 1: 23 sujetos.
- Grupo 2: 10 sujetos.
- Grupo 3: 19 sujetos.
- Grupo 4: 12 sujetos.
- Grupo 5: 7 sujetos.
- Grupo 6: 9 sujetos.

Los criterios de inclusión adoptados fueron:

- Cumplimentar el Formulario de Salud (fig. 1).
- Llevar a cabo una actividad física inferior a 15 horas semanales.

Apellidos					Nombre		
Edad		Equipo			Categoría		
Peso		Talla		N.º pie			
Posición en el campo				Dominancia		Calzado habitual	
Horas de práctica semanal				Años de práctica		Superficie	
Deformaciones anatómicas							
Lesiones							
Tratamientos farmacológicos							
Tratamientos de fisioterapia							
Medicación actual							
Alimentación							
Mediciones							

Fig. 1. Encuesta preliminar para detectar criterios de inclusión y exclusión en el estudio.

- No padecer ninguna patología local en el calcáneo o en el pie.
- No estar incurso en ningún tipo de tratamiento físico local en el pie.

Coefficientes de variación

Los coeficientes de variación *in vitro* han sido determinados mediante la utilización de un fantoma antropométrico de calcáneo, suministrado por la firma McCue, para el modelo Cuba Plus, arrojando los siguientes valores:

- BUA: 0,44 %.
- VOS: 0,5 %.

La valoración densitométrica fue realizada por un analizador de hueso por contacto ultrasónico Contact Ultrasonic Bone Analyzer (CUBA) de la marca McCue Ultrasonic PLC de Compton, Winchester, USA, modelo CUBA PLUS 4.1.0, que mide la atenuación ultrasónica de banda ancha BUA, y la velocidad de atenuación del haz ultrasónico en el hueso VOS (fig. 2).

Método

Protocolo de estudio

A todos los sujetos se les efectuó una valoración de VOS y BUA por el mismo operador. El BUA fue medido en dB/MHz y el VOS en m/s. Todos los integrantes

de los dos colectivos de estudio fueron pesados y tallados antes de la realización de la prueba.

En cada medición, el equipo efectuó tres exploraciones consecutivas de la atenuación y la velocidad, y se ofreció como resultado el valor medio de las mismas, el cual se comparó con los datos del fantoma antropométrico.

Las mediciones se registraron en un ordenador portátil DELL modelo Latitude, empleando el paquete informático suministrado por el fabricante.

Análisis estadístico

Para el tratamiento estadístico de los datos obtenidos fueron utilizados los programas SPSS versión 9.0 para Windows y Microsoft Excel® del paquete informático Microsoft Office XP.

En primer lugar se efectuó un estudio descriptivo, en ambos grupos, de las diferentes variables objeto de estudio: BUA, VOS, edad, peso y talla.

Se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnoff para comprobar la normalidad de los parámetros BUA y VOS, variables respuesta en nuestro estudio.

El test t de Student se aplicó para valorar la diferencia de medias de BUA y VOS entre los grupos control y estudio, comprobando si las diferencias existentes eran o no significativas. Se estableció la significancia estadística en $p < 0,05$.

RESULTADOS

Para el presente estudio se analizó a un total de 168 varones de edades comprendidas entre los 19 y los 29 años, cuyas características fueron detalladas en el apartado de "Sujetos y métodos", a quienes se les efectuaron dos mediciones con el densitómetro ultrasónico CUBA en el calcáneo de ambos pies, con el fin de obtener las curvas de normalidad.

En cada valoración, por medio del *software* suministrado, el equipo realizó tres mediciones consecutivas, para ofrecer un valor promedio como valor significativo.

Se han representado por separado los valores BUA y VOS, aplicándose el test de Kolmogorov-Smirnoff para comprobar la normalidad de ambos parámetros.



Fig. 2. Contact Ultrasonic Bone Analyzer (CUBA) de la marca McCue Ultrasonic PLC de Compton, Winchester, USA, modelo CUBA PLUS 4.1.0.

Tabla 1. Descriptivos del grupo control

Edad (años)	Valores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
19-20	BUA	60,00	98,00	84,7	9,2
	VOS	1.528,00	1.741,00	1.639	42,4
21-22	BUA	64,00	97,00	84,1	8,7
	VOS	1.540,00	1.702,00	1.638,3	38,3
23-24	BUA	63,00	100,00	84,1	9,3
	VOS	1.521,00	1.719,00	1.637,8	30,9
25-26	BUA	64,00	96,00	83,8	8,8
	VOS	1.521,00	1.719,00	1.621,5	43,3
27-28	BUA	67,00	97,00	83,9	8,8
	VOS	1.532,00	1.730,00	1.615,1	38,7
Más de 29	BUA	61,00	96,00	83,0	9,1
	VOS	1.508,00	1.726,00	1.613,6	45,3

Grupo control

El valor medio del BUA fue de 83,9 dB/MHz, con una desviación estándar de 8,8 dB/MHz, y el valor medio del VOS fue de 1.627,7 m/s, con una desviación estándar de 41,2, siendo las dos variables estadísticamente significativas con respecto a la población normal.

El comportamiento de ambos parámetros se correlacionó con la edad del individuo, observando su variabilidad con respecto a la misma en los diferentes grupos de edad, en los que se dividió la muestra, como se expresa en la tabla 1.

Las medidas para el BUA de cada uno de los subgrupos se sitúa entre un máximo de 84,7 dB/MHz, con una desviación estándar de 9,2 dB/MHz en el primer grupo, y un mínimo de 83,0 dB/MHz, con una desviación estándar de 9,1 dB/MHz, del grupo sexto, observándose

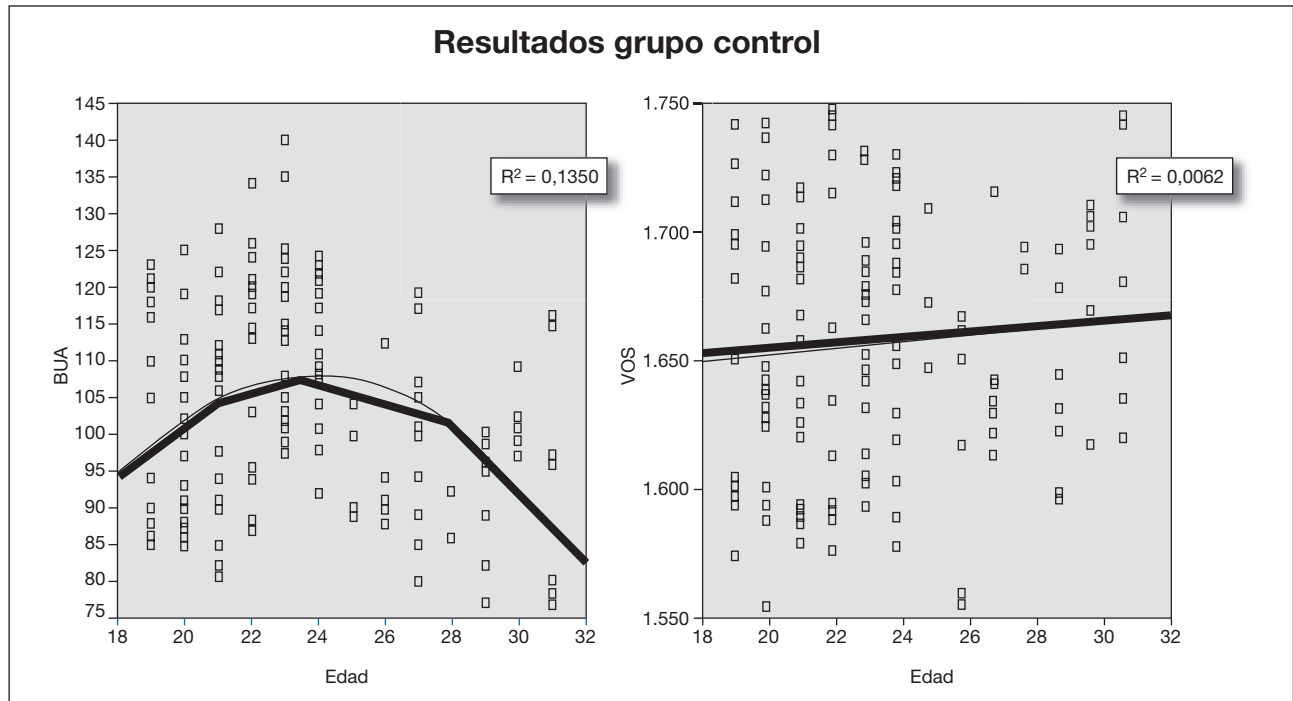


Fig. 3. Curva de regresión cuadrática, del grupo control, en la que se observa un aumento del BUA hasta los 24 años, para iniciarse un descenso a partir de ese momento ($R^2 = 0,1350$).

en todos los grupos una significación estadística ($p < 0,05$) con respecto a la población normal.

Una tendencia similar se aprecia en los valores del VOS, con un máximo de $1.639,0$ m/s, desviación estándar de $42,4851$ m/s en el primer grupo y un mínimo de $1.613,6$ m/s con desviación estándar de $45,3796$ m/s, manteniéndose la significación estadística $p < 0,05$ en todos los grupos, excepto en los 1, 2 y 4, debido al tamaño de la muestra.

Los gráficos que más se ajustaron a estos valores, para determinar la tendencia seguida en su distribución, resultaron ser una recta de inclinación negativa con una R^2 de $0,0039$ y $0,640$ para BUA y VOS, respectivamente (fig. 3).

La diferencia entre los valores máximo y mínimo de BUA fue del 3 %, y del 1,5 % para el VOS. Si bien ambos valores muestran una tendencia negativa, estadísticamente no significativa, deben ser considerados estables, en este tramo de edad considerado.

Grupo de estudio

En este grupo, el valor medio del BUA fue de $103,4$ dB/MHz (desviación estándar $13,8$), habiendo sido agrupados en 6 grupos de edad, similares a los sujetos control; se obtuvo el valor máximo de BUA de $112,6$ dB/MHz en el tercer grupo y el valor mínimo de $94,2$ dB/MHz, en el sexto.

El comportamiento de ambos parámetros se correlacionó con la edad del individuo, observando su variabilidad con respecto a la misma en los diferentes grupos de edad en los que se dividió la muestra, como queda expresado en la tabla 2.

El valor medio del BUA de este grupo es superior en un 19 % al del grupo control, teniendo todos los valores significación estadística ($p < 0,05$)

En relación con el VOS, el valor medio de este grupo se sitúa en $1658,4$ m/s desviación típica $47,3$ ($p < 0,05$), siendo máxima en el grupo sexto, con $1.667,8$ m/s

($p < 0,01$) y mínima en el cuarto grupo, con 1.643,9 m/s (p no significativa).

Con respecto al grupo control, la diferencia es del 2 % entre las medias obtenidas.

La relación del BUA con los grupos de edad se ajustó mediante una curva de regresión cuadrática, observándose un aumento del BUA hasta los 24 años para iniciarse un descenso a partir de ese momento ($R^2 = 0,1350$). A la vista del gráfico obtenido, se efectuó un ajuste lineal del primer tramo de la curva hasta los 24 años ($R^2 = 0,1550$), y otro para el último, de 25 a 30 años ($R^2 = 0,0159$), obteniéndose una relación lineal creciente hasta los 24 años y una decreciente a partir de los 25 (fig. 4).

El ajuste para el VOS con los diferentes grupos de edad de los sujetos del estudio se efectuó mediante una recta de regresión lineal, de tendencia positiva no estadísticamente significativa ($R^2 = 0,0062$).

Tabla 2. Descriptivos del grupo de estudio

Edad (años)	Valores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
19-20	BUA	85,00	125,00	99,1	13,4
	VOS	1.558,00	1.745,00	1.653	49,6
21-22	BUA	81,00	134,00	105,8	14,3
	VOS	1.580,00	1.753,00	1.662,30	54,8
23-24	BUA	92,00	140,00	112,6	10,2
	VOS	1.581,00	1.733,00	1.643,8	41,8
25-26	BUA	88,00	112,60	97,8	9,4
	VOS	1.559,00	1.711,00	1.643,5	49,5
27-28	BUA	80,00	119,00	97,9	12,4
	VOS	1.616,00	1.717,00	1.658,1	35,9
Más de 29	BUA	77,00	116,00	94,2	11,8
	VOS	1.599,00	1.746,00	1.667,6	45,9

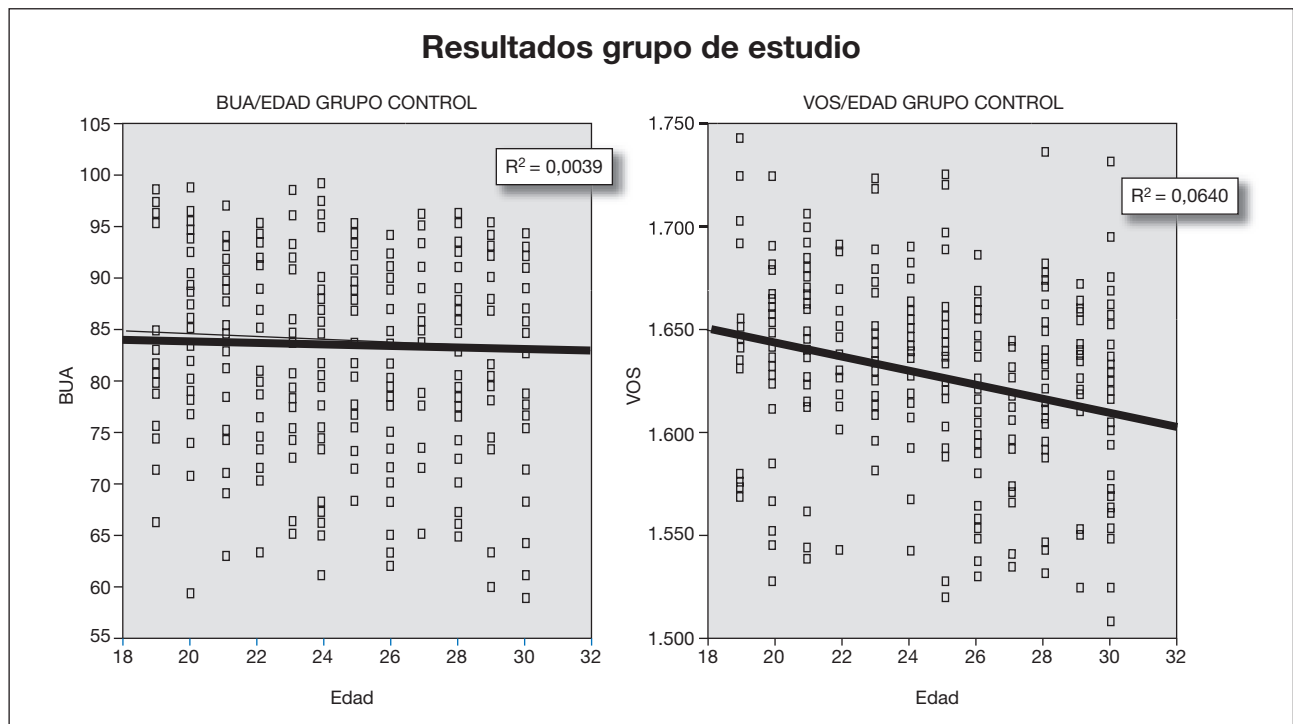


Fig. 4. Recta de inclinación negativa del grupo de estudio, con una R^2 de 0,0039 y 0,0640 para BUA y VOS, respectivamente. El valor BUA se mantiene estable en ambos grupos gracias a la actividad física realizada.

Tabla 3. Autores y resultados. Comparación de los resultados obtenidos por otros autores (1997-2005)

Autor	Valor BUA	Estudio	Año
Langton ⁴	62 ± 1,9 dB/MHz	367 sujetos de ambos sexos de 16 a 38 años	1997
Aspray et al ⁵	89 ± 2 dB/MHz	120 varones de 32 a 83 años	1998
Pluskiewicz y Drozdowska ⁶	106,1 ± 10 dB/MHz	Varones de 18 a 50 años	1999
Lehtonen-Veromaa et al ⁷	76 ± 3,2 dB/MHz	Atletas, varones de 17 a 20 años	2000
Steinschneider et al ⁸	93 ± 0,8 dB/MHz	30 mujeres de 30 a 60 años	2003
Falgarone et al ⁹	71,7 ± 1,2 dB/MHz	106 mujeres de 20 a 65 años	2004
Babarouti et al ¹⁰	74,2 ± 0,45 dB/MHz	320 varones de 15 a 80 años	2005

DISCUSIÓN

Los resultados de los estudios más recientes (1997-2005) que versan sobre el uso de la densitometría ultrasónica y el valor del BUA como parámetro predictivo de la calidad mecánica del hueso, arrojan valores muy similares, a los obtenidos en este trabajo, según se muestra en la tabla 3.

La edad a la que se realiza el ejercicio es otro factor significativo, pues el desarrollo de la masa ósea se produce durante el período de crecimiento óseo, y no cuando éste se convierte en hueso maduro. Alcanzar un adecuado pico de masa ósea en la etapa de crecimiento puede ser un factor de prevención de futuras osteoporosis⁹⁻¹¹.

Varios autores han reflejado un aumento del BUA tras la actividad física. Lehtonen⁷ observa incrementos de un 13,7 % en gimnastas y corredores.

Jones et al¹² coinciden también con esos resultados, cuando efectúa su estudio sobre una población femenina sometida diariamente a una actividad aeróbica como es caminar, observando la disminución de prevalencia de cambios osteoporóticos, siendo mayor esta tendencia en los cortes de edad, que clínicamente estarían más expuestos (mujeres climatéricas).

Posteriormente, Daly et al¹³ realizaron un estudio similar sobre una muestra de mujeres gimnastas, sometidas a ejercicios aeróbicos de alto impacto, coincidiendo en las conclusiones.

En futbolistas han sido descritos aumentos de la densidad y masa ósea, con una correlación positiva respecto al peso y la talla. Tanto Wittich et al¹⁴ como Dupe et al¹⁵ han registrado aumentos de la masa ósea total en distintas categorías de futbolistas, desde juniors a seniors. Ambos auto-

res utilizan para sus estudios absorciometría dual de rayos X (DXA), que registra los valores de contenido mineral del hueso (BMC) y de densidad mineral del hueso (BMD). Wittich et al¹⁴ ofrecen unos valores de BMC del 18 % ($p < 0,001$) superiores en futbolistas que en su grupo control, y de un 12,3 % ($p < 0,001$) en los valores de BMD.

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan unos valores de BUA superiores en el grupo de estudio que en el grupo control, con una tendencia al aumento del citado valor hasta la segunda década de la vida y un posterior descenso.

Esta situación no se produce en el grupo control constituido por sujetos que no llevan a cabo actividad física, siendo descrito un descenso del mismo valor en la tercera década de la vida.

Los datos son concordantes con un reciente estudio de Mentzel et al¹⁶, que coincide en el aumento de los parámetros indicadores de densidad ósea (BUA) con una significativa correlación estadística ($p < 0,05$) con relación a la edad, el peso y la talla.

Si bien el estudio se ha efectuado sobre el calcáneo, los valores BUA se pueden correlacionar con el estado general, lo que nos indica la necesidad de progresar en la investigación de programas de prevención, como el efectuado por Pedrera et al¹⁷.

Las curvas resultantes de comparar el VOS relacionadas con la edad mostraban diversas inclinaciones en su regresión: positiva para el grupo de estudio y negativa para el grupo de estudio, con un escaso margen en su valor numérico, lo cual debe ser interpretado como el efecto benéfico que la actividad física representa para las propiedades elásticas del calcáneo, dando origen a la ne-

cesidad de progresar en la investigación de estos cambios relacionados con la posición en el campo y el cometido que el jugador desarrolla, ya que el nivel de exigencia es distinto en porteros que en delanteros, por ejemplo.

La actividad física actúa como una medida de mejora de la densidad ósea y existe un gran número de estudios, recogidos en una reciente revisión de Martín y Alonso¹⁸, que refuerzan el objeto de este estudio.

CONCLUSIONES

- Los parámetros de BUA y de VOS que caracterizan la masa ósea y la elasticidad, respectivamente, no depen-

den del peso o la talla del sujeto en el intervalo de edades de los sujetos estudiados.

- En la población control, el BUA y el VOS se mantienen constantes, pero muestra una tendencia al descenso en ambos parámetros al aumentar la edad, lo que debe ser interpretado como una pérdida de la masa ósea y la elasticidad.

- El pico de masa ósea muestra su máximo valor en los grupos de edad entre los 22 y los 24 años, observándose a partir de ese momento una disminución progresiva.

- La actividad física es el factor determinante en la mejora y conservación de las propiedades elásticas del hueso de los sujetos de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jiong Y, Zhao J, Roseu C, Geusens P, Gennat HK. Perspectives on bone mechanical properties and adaptative response to mechanical challenge. *J Clin Densitom.* 1999;2:423-33.
2. Morita R, Yamamoto I, Yuu I, Hamanaka T, Ohta M, Takada R, et al. Quantitative ultrasound for the assesment of bone status. *Osteoporosis Int.* 1997;7 Suppl 3:S128-34.
3. Nicholson PH, Strelitzki R. On the prediction of Young's modulus in calcaneal cancellous bone by DEXA measurements. *Clin Rheumatol.* 1999;15:10-6.
4. Langton CM. ZSD. A universal parameter or precision in the ultrasonic assessment of osteoporosis. *Physiol Med.* 1997;19:67-72.
5. Aspray TJ, Francis RM, Thompson A, Quilliam SJ, Rawling DJ, Tyrer SP. Comparison of ultrasound measurements at the heel between adults with mental retardation and control subjects. *Bone.* 1998;22:665-8.
6. Pluskiewicz W, Drozdowska B. Ultrasound measurement at the calcaneus in men: differences between healthy and fractured persons and the influence of anthropometric features on ultrasound parameters. *Osteoporosis Int.* 1999;10:47-51.
7. Lehtonen-Veromaa M, Mottone T, Nuotio I, Henonen OJ, Viikari J. Influence of physical activity on ultrasound and dual-energy X ray absorptiometry bone measurements in peripubertal girls: a cross sectional study. *Calcif Tissue Int.* 2000;66:89-96.
8. Steinschneider M, Hagag P, Rapoport M. Discordant effect of body mass index on bone mineral speed of sound. *BMC Musculoskelet Disord.* 2003;4:15-20.
9. Falgarone G, Porcher P, Duche A, Kolta S, Dougados M, Roux C. Discrimination of osteoporotic patients with quantitative ultrasound using imaging or non imaging device. *Joint Bone Spine.* 2004;71(5):419-23.
10. Babarouti E, Magkos F, Manios Y, Sidossis L. Body mass index, calcium intake and physical activity affect calcaneal ultrasound in healthy Greek males and age dependent and parameter-specific manner. *J Bone Miner Metab.* 2005;23:210-6.
11. Sharkey NA, Williams N, Guerin J. The role of physical exercise in the prevention and treatment of osteoporosis and osteoarthritis. *Nurs Clin North Am.* 2000;35:209-21.
12. Jones PR, Hardman A, Hudson A, Norgan N. Influence of brisk walking on the broadband ultrasonic attenuation of the calcaneus in previously sedentary women aged 30-61 years. *Calcif Tissue Int.* 1991;49:112-5.
13. Daly RM, Rich P, Klein R, Baas S. Effects of high-impact exercise on ultrasonics and biomechanical indexes of skeletal status: A prospective study in young male gymnasts. *J Bone Mineral Res.* 1999;14:1222-30.
14. Wittich A, Mautalen CA, Oliveri MB, Bagur A, Somoza F, Rotemberg E. Professional football players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size and than age and BMI matched controls. *Calcif Tissue Int.* 1998;63:112-7.
15. Dupe H, Gardsell P, Johnell O, Ornstein E. Bone mineral density in female junior, senior and former football players. *Osteoporosis Int.* 1996;6:437-54.
16. Mentzel HJ, Wunsche K, Malich A, Bottcher J, Vogst S, Kaiser WA. The effect of sports activities in children and adolescents on the calcaneus. An investigation with quantitative ultrasound. *RoFo.* 2005;177:236-45.
17. Pedrera JD, Canal ML, Carvajal J, Postigo S, Villa F. Influence of vitamin D administration on bone ultrasound measurements in patients with an anticonvulsant therapy. *J Clin Invest.* 2000;30:895-9.
18. Martín J, Alonso N. Prevención y tratamiento de la osteoporosis con la actividad física y el deporte. *Fisioterapia.* 2006;6:323-9.