

## 低周波超音波による踵骨の骨強度の評価

武田 直人, 三宅真理子, 唐井 一成, 北 昭一, 友光 達志\*,  
福永 仁夫\*

Achilles ultrasound bone densitometer (以下 Achilles) は, 低周波超音波を用いて骨強度を評価する測定装置であり, 従来の骨粗鬆症の診断法として頻用されている二重エネルギー X 線吸収測定法 (DXA) と異なり, 放射線被曝がなく, 安全かつ簡便に行える測定装置として注目されている. このたび, 医療器具として厚生省より認可を受け, 骨粗鬆症に対する新しい診断法として期待されている Achilles の臨床的有用性について検討を行ったので報告する. (平成5年4月5日採用)

## Assessment of Bone Strength in the Calcaneus Measured by Low Frequency Ultrasound

Naoto Takeda, Mariko Miyake, Issei Karai, Syouchi Kita,  
Tatsushi Tomomitsu\* and Masao Fukunaga\*

The speed of sound (SOS) and broadband ultrasound attenuation (BUA) in the calcaneus were measured in normal women ( $n=66$ ) and women with osteopenia ( $n=22$ ). A low frequency ultrasound bone densitometer (Achilles, Lunar) was used.

Bone mineral density in the lumbar spine (L-BMD) was measured simultaneously by dual energy X-ray absorptiometry (QDR-1000, Hologic). In the women with osteopenia, SOS and BUA values were significantly lower (SOS and BUA:  $p < 0.001$ ), when compared to those taken from the normal group. There were positive correlations between SOS and L-BMD ( $r=0.733$ ,  $p < 0.001$ ), and BUA and L-BMD ( $r=0.427$ ,  $p < 0.001$ ). On the other hand, there were negative correlations between SOS and age ( $r=-0.688$ ,  $p < 0.001$ ), BUA and age ( $r=-0.444$ ,  $p < 0.001$ ), and L-BMD and age ( $r=-0.681$ ,  $p < 0.001$ ).

We suggest that ultrasound bone measurement is a useful new diagnostic method for osteoporosis which offers the advantage of not requiring exposure to radiation.

(Accepted on April 5, 1993) *Kawasaki Igakkaishi* 19(2):77-81, 1993

**Key Words** ① Ultrasound bone measurement ② Osteoporosis  
③ Speed of sound ④ Broadband ultrasound attenuation

## はじめに

近年、高齢化社会の到来とともに、退行性疾患の一つである骨粗鬆症が注目されている。老年者の骨粗鬆症に基づく骨折は、寝たきり老人の原因となり、医学的にも社会的にも大きな問題点を包含している。骨折がし易いか否か、つまり骨の強度は、①骨の硬度、②弾性、③骨梁の三次元分布により規定されるが、骨の硬度、言い換えれば骨塩量の多少は骨の強度の80%を支配するといわれる。したがって、骨粗鬆症の予防には、定期的な骨塩量の測定が重要であるため、従来から種々の非侵襲的な骨塩定量法が試されている。特に、二重エネルギー X 線吸収測定法 (DXA) は、優れた基本性能のため、臨床的に広く利用されている<sup>1)~3)</sup>。しかし、少量の被曝があること、骨の強度に影響を与える骨質の評価が困難であることなどの問題点が指摘されている。そのため、骨塩量の測定とともに、骨質の評価が可能な方法の開発が望まれていた。最近、低周波超音波を用いて骨塩量や骨質の評価を行う方法が開発され、欧米では種々の報告がなされている<sup>4)~5)</sup>が、本邦では、未だ報告は少ない。今回我々は、低周波超音波骨量測定装置を使用する機会を得て、基礎的および臨床的検討を行ったので報告する。

## 対象と方法

対象は、20歳から78歳までの健常女性66例と、骨塩低下女性22例を含む計88例である。使用した低周波超音波骨量測定装置は、米国 Lunar 社製の Achilles である。Achilles による踵骨の骨強度測定の基本原理は、踵骨の一点 (底面から 4 cm、後面から 3 cm) に 0.1 から 2.0 MHz (中心周波数 0.5 MHz) の低周波パルス波を間欠的に放射し、踵骨透過後の超音波伝播速度 (speed of sound: 以下 SOS と略す) と超音波伝播減衰係数 (broadband ultrasound attenuation: 以下 BUA) をコンピュータ解析により算出する。

SOS は、単位時間当りの伝播速度 (m/sec) であり、理論的には物質の弾性を表すヤング率と密度に関係しており、生体内では骨の弾力性と骨密度を表す指標とされる。一方 BUA は、踵骨透過後の周波数スペクトラムから、水同等物質の透過スペクトラムを減じて得られる傾き (dB/MHz) である。これは、骨の硬度や骨梁の 3 次元分布を表す指標とされる<sup>6)~7)</sup>。全対象例について、SOS と BUA を測定するとともに、Hologic 社製の DXA 装置 (QDR-1000) を用いて、第 2 ~ 第 4 腰椎の平均骨塩量 (L-BMD) を測定した。なお、L-BMD が女性例の腰椎最大骨塩量から 2 SD 以上の低値 (0.855 g/cm<sup>2</sup> 以下) を示す症例を骨塩低下群と定義した。SOS または BUA と L-BMD との間の相関を求めるとともに、正常骨塩群と骨塩低下群間の各測定パラメータを比較した。また、SOS、BUA および L-BMD と年齢との間の相関を検討した。さらに、基礎的

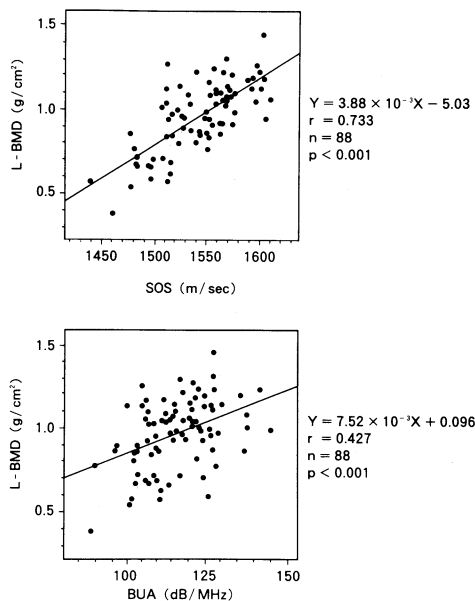


Fig. 1. Relations between speed of sound (SOS: m/sec) and broadband ultrasound attenuation (BUA: dB/MHz) in the calcaneus measured by Achilles and bone mineral density in the lumbar spine (L-BMD: g/cm<sup>2</sup>) measured by dual energy X-ray absorptiometry (DXA)

検討として、Achilles による SOS と BUA の測定精度を、27歳の健常男性を対象に、日内変動には6回、日差変動については28日間に22回測定し、測定の再現性(C.V.値)から評価した。

**結 果**

全対象88例における SOS と L-BMD との間の相関は  $r=0.733$  ( $p<0.001$ ) であり、一方、BUA と L-BMD との間の相関は  $r=0.427$  ( $p<$

$0.001$ ) であった (Fig. 1)。

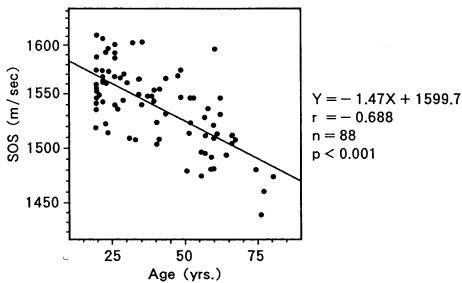
健常群 66 例における SOS は  $1,555.6 \pm 27.7$  m/sec (Mean  $\pm$  S.D.), BUA は  $116.3 \pm 10.1$  dB/MHz であった。これに対して骨塩低下群 22 例の SOS は  $1,499.3 \pm 27.5$  m/sec, BUA は  $106.3 \pm 10.3$  dB/MHz であり、健常群に比して 2 つのパラメータの有意な低下を認めた(ともに  $p<0.001$ )。また、この 2 群間の平均値の差の検定では、SOS が  $t=8.29$  ( $p<0.001$ ) であるのに対して、BUA は  $t=4.00$  ( $p<0.001$ ) であり、骨塩低下群の検出には、SOS のほうがより有用であると思われた (Table 1)。

全対象88例における SOS と年齢との間の相関は  $r=-0.688$  ( $p<0.001$ ) であり、一方 BUA と年齢との間の相関は  $r=-0.444$  ( $p<0.001$ ) であった。L-BMD と年齢との間の相関は  $r=-0.681$  ( $p<0.001$ ) であった (Fig. 2)。さらに、SOS, BUA および L-BMD と年齢との関係をより明確にするために、対象を20歳から10歳毎に分類し、各10歳代毎の平均値を求め、最大値を100%、最小値を0%としたときの値と年齢との関係をみた。その結果、L-BMD が40歳代から

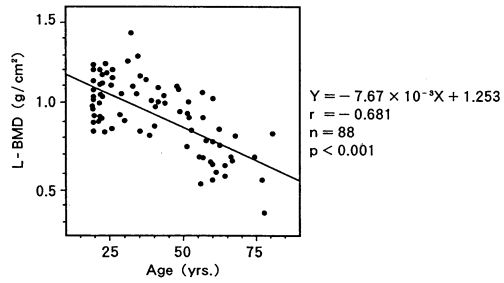
**Table 1.** Comparison of SOS and BUA in normal women and women with osteopenia. Both SOS and BUA reduced significantly. Especially SOS was superior to BUA in differentiating normal women from women with osteopenia by *t* value.

Subjects	N	SOS (m/sec)	BUA (dB/MHz)
Normal	66	1,555.6 $\pm$ 27.7	116.3 $\pm$ 10.1
Osteopenia	22	1,499.3 $\pm$ 27.5	106.3 $\pm$ 10.3
		$t=8.29$	$t=4.00$

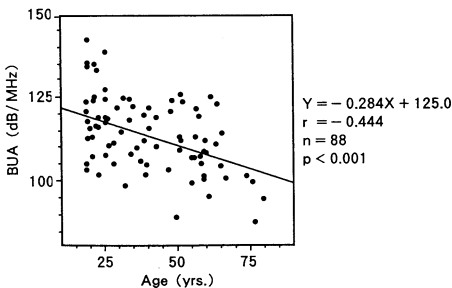
Mean  $\pm$  S.D.  $p<0.001$  (Normal v.s. Osteopenia)



SOS と年齢の相関



L-BMD と年齢の相関



BUA と年齢の相関

**Fig. 2.** Relations between SOS, BUA, L-BMD and age (years: yrs.) in all 88 subjects

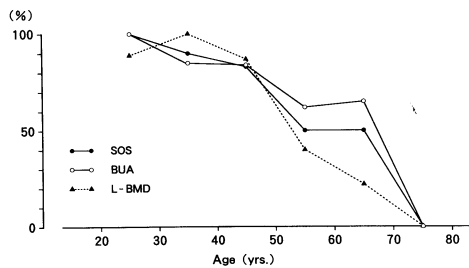


Fig. 3. Relations between SOS, BUA, L-BMD and age. Both SOS and BUA reduced more slowly than L-BMD in age of ranging from 40 to 60.

Table 2. In vivo precision study of SOS and BUA in a normal subject

	Assay Times	Duration (Day)	C.V. (%)	
			SOS	BUA
Within One Day	6	1	0.18	1.71
Different Days	22	28	0.28	1.62

60歳代にかけて急激に減少するのに比べて、SOSとBUAではやや遅れて緩徐に減少する傾向が認められた (Fig. 3)。

また、測定精度に関しては、日内変動はSOSがC.V.=0.18%、BUAがC.V.=1.71%であり、日差変動はSOSがC.V.=0.28%、BUAがC.V.=1.62%でともに良好であった (Table 2)。

## 考 察

骨粗鬆症による骨折の危険性を予知できれば、その早期治療や予防が可能になる。従来より、骨塩定量法を用いて設定された骨折の閾値が提唱されており、骨折の危険性の予知に利用されている。しかし、この指標を使用した場合、偽陰性例や偽陽性例が少なからず存在するため、骨塩量の把握だけでなく、骨質の評価の必要性が指摘されていた。今回の検討に供した低周波超音波は海綿骨を通過できる特徴をもつ。また、得

られるパラメータのうち、BUAは骨塩量の多少のみならず骨梁の分布を反映して変動するといわれ、DXAでは得られない骨質の評価が可能であるとされる。今回の検討の結果、本装置は測定精度が優れていることが示されたが、これは、海外で既に報告されている成績とほぼ同等であり<sup>7,8)</sup>、临床上経過観察や治療効果の判定に十分使用し得るものと思われた。Achillesで測定したSOSまたはBUAとDXAで測定したL-BMDとの間には、前者とは $r=0.733$ 、後者とは $r=0.427$ の相関が得られた。今回の腰椎の骨塩量と低周波超音波法によるパラメータとの間の相関性の成績は欧米での報告とほぼ同様であった<sup>4,6,9)</sup>。これは、①SOSの測定により、L-BMDをある程度推測することができること、②BUAの測定は、DXAでは評価できない骨質を表わしている可能性があることを示唆している。また、低周波超音波法はDXAとは異なり、被曝の危険性がないのでスクリーニング検査としてDXAの代わりに海綿骨が主体の骨の骨塩定量に使用し得る可能性を示唆するものであった。

今回の検討では、骨塩低下群の検出には、BUAに比してSOSの指標の方がより有用であるように思われた。つまり、SOSは骨塩量の多少をより強く反映するものと思われた。BUAについては、骨質つまり骨の脆弱性や骨梁の三次元分布を表わしている可能性が示唆され、骨の強度、換言すれば骨折の危険性が評価できる可能性があり、今後さらなる検討が望まれる。

今回の検討で注目すべき点は、踵骨のSOSとBUAはL-BMDに比べて、加齢とともにより緩徐に減少する傾向が認められたことである。この所見は、①閉経期の女性における骨強度の変化を、より詳細に評価できること。②踵骨は海綿骨が95%を占めるのに対して、腰椎では60%程度であり、その違いを反映している可能性などを示唆するものであり、今後の検討が期待される。

このように、低周波超音波骨量測定装置Achillesによる骨塩量や骨質の評価は、放射線被曝がなく安全性に優れ、骨粗鬆症の診断のみ

ならず、その予防や骨折の危険性の予知に寄与するものと思われ、今後、新しい骨塩定量法の一つとして十分期待できるものと思われた。

## 結 語

低周波超音波骨量測定装置である Achilles を用いて、健常女性66例と腰椎の骨塩低下女性22例の計88例に対して骨塩量や骨質を反映するパラメータつまり SOS および BUA を測定した。

健常群に比べて、骨塩低下群では、SOS および BUA の有意な低下が認められた。

また、Achilles を用いて測定した SOS および BUA と、DXA を用いて測定した L-BMD との間には有意の相関が認められた。

踵骨の SOS と BUA は L-BMD に比べて、加齢による減少がより緩徐に生じる傾向が認められた。

低周波超音波法は、放射線被曝がなく、安全性に優れた新しい骨塩量および骨質の評価法として有用であると考えられた。

なお本論文の要旨は、日本超音波医学会第62回研究発表会にて報告した。

## 文 献

- 1) 福永仁夫, 友光達志, 森田陸司: DEXA 法. 臨放 35: 41-48, 1990
- 2) 森田陸司, 山本逸雄, 福永仁夫: 骨塩量の測定. 最新医学 46: 232-236, 1991
- 3) 森田陸司, 山本逸雄, 福永仁夫: 骨塩測定法. 総合臨床 39: 2586-2590, 1990
- 4) Rossman P, Zagzebski J, Mesina C, Sorenson J, Mazess R: Comparison of speed of sound and ultrasound attenuation in the os calcis of bone density of the radius, femur and lumbar spine. Clin. Phys. Physiol. Meas. 10: 353-360, 1989
- 5) Reas H, Pietschmann P, Bernecker P, Krexner E, Willvonseder R: Broadband ultrasound attenuation: A new diagnostic method in osteoporosis. AJR 155: 825-828, 1990
- 6) Zagzebski J, Rossman P, Mesina C, Sorenson J, Mazess R: Ultrasound transmission measurements through the os calcis. Calcif. Tissue Int. 49: 1-5, 1991
- 7) Baran D, Kelly A, Karellas A, Gionet M, Price M, Leahey D, Stenterman S, McSherry B, Roche J: Ultrasound attenuation of the os calcis in women with osteoporosis and hip fractures. Calcif. Tissue Int. 43: 138-142, 1988
- 8) Agren M, Karellas A, Leahey D, Marks S, Baran D: Ultrasound attenuation of the calcaneus: A sensitive and specific discriminator of osteopenia in postmenopausal women. Calcif. Tissue Int. 48: 240-244, 1991
- 9) McCloskey EV, Murray SA, Miller C, Charelesworth D, Tindale W, Odoherly DP, Bickerstaff DR, Hamdy NAT, Kanis JA: Broadband ultrasound attenuation in the os calcis: Relationship to bone mineral at other skeletal sites. Clin. Sci. 78: 227-233, 1990