



|              |                                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 超音波による踵骨骨量測定に関する基礎的検討-剖検<br>摘出踵骨を用いて-                                               |
| Author(s)    | 浜中, 恭代; 山本, 逸雄; 今本, 喜久子 他                                                           |
| Citation     | 日本医学放射線学会雑誌. 1998, 58(4), p. 137-141                                                |
| Version Type | VoR                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/15532">https://hdl.handle.net/11094/15532</a> |
| rights       |                                                                                     |
| Note         |                                                                                     |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 超音波による踵骨骨量測定に関する基礎的検討

— 剖検摘出踵骨を用いて —

浜中 恭代<sup>1)</sup> 山本 逸雄<sup>1)</sup> 今本喜久子<sup>2)</sup> 高田 政彦<sup>1)</sup> 森田 陸司<sup>1)</sup>

1) 滋賀医科大学放射線医学教室 2) 滋賀医科大学解剖学教室

## In Vitro Study of Ultrasonic Bone Densitometry Using Dissected Calcaneus

Yasuyo Hamanaka<sup>1)</sup>, Itsuo Yamamoto<sup>1)</sup>,  
Kikuko Imamoto<sup>2)</sup>, Masahiko Takada<sup>1)</sup>  
and Rikushi Morita<sup>1)</sup>

Quantitative ultrasound (QUS) of the calcaneus is a widely utilized method for bone densitometry. However, the meaning of measured parameters, such as speed of sound (SOS) and broadband attenuation (BUA), is not well established. We performed in vitro measurement of dissected human calcaneus (n = 60; male 29, female 31; mean age 81 years) using two QUS machines and also measured bone densities using SXA, DXA and pQCT. Finally, we investigated breaking strength of the calcaneus and studied the correlation with QUS parameters and other assessed parameters. The two QUS measurements were in good agreement in most experiments. SOS correlated most closely with bone mineral densities assessed by pQCT and did not correlate with factors related to bone size, while BUA showed the highest correlation with BMC and association with parameters related with bone size such as bone area and bone width. With maximal breaking stress of the calcaneus, correlations were almost equal among QUS parameters and bone mineral density.

We conclude that SOS is the parameter most closely associated with true bone mineral density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), whereas BUA represents both bone mineral density and bone size, mimicking BMD assessed by DXA or SXA.

Research Code No. : 505.2

Key words : Calcaneus, Ultrasound, Bone densitometry

Received Oct. 23, 1997; revision accepted Jan. 23, 1998

1) Department of Radiology, Shiga University of Medical Science

2) Department of Anatomy, Shiga University of Medical Science

## はじめに

超音波による骨量測定は、原理的には1980年代のはじめから試みられていたが<sup>1),2)</sup>、1990年代になって専用の測定器の開発が行われ特に近年著しい発展をみせており<sup>3),4)</sup>その機種も10種近く登場し、わが国においても踵骨測定用超音波装置が500機以上導入されているものと推定される。超音波法による骨量測定は簡便であり、放射線を用いない利点を生かしてわが国においては骨粗鬆症検診や人間ドックなどにて主として用いられているが<sup>5)</sup>、近年、踵骨の超音波測定が骨折の予知に有用であったとの臨床報告が相次ぎ<sup>6)-8)</sup>、その臨床的意義が確立しつつある。

超音波法により測定される伝導速度(SOS)や超音波減衰率(BUA)などの測定パラメータが何を意味するかという点に関しても、摘出骨を用いてインビトロでのいくつかの検討成績が海外より報告されている<sup>9)-14)</sup>。つまり、超音波パラメータは骨梁の走行方向に影響され、骨密度とは異なる骨の構造をあらわす可能性が指摘されたが<sup>10),12)</sup>、一方で、骨の量以上のものはあらわさず、インビトロでの骨強度との関連においてもDXAで測定された骨密度(BMD)以上のものは示さないとの報告があり<sup>13),14)</sup>、その意味に関してはなお議論の余地が残されている。

今回、われわれは剖検摘出踵骨を用いて、2種類の超音波装置にて踵骨の超音波測定を行い、他の方法によって得られる測定値との比較検討を行い、踵骨超音波パラメータの意義に関して検討を加え、考察を行った。

## 対象と方法

### 摘出踵骨：

踵骨は解剖検体(男29名、女31名：51-100歳、 $81.5 \pm 6.5$ 歳(平均 $\pm 1$ 標準偏差))より得られた60検体を用いた。検体は測定まで10%ホルマリン液中で4°Cにて保存した。全踵骨についてX線写真撮影を行い、測定部に溶骨性病変、硬化性病変、更に測定に影響を与えうると考えられる異常所見のないことを視覚的に確認した。また、骨梁の走行についても視覚的に判定した。

## 測定方法:

超音波測定は2機種により行った。つまり踵骨超音波測定装置、Lunar社製(Madison WI, USA)A-1000とAloka社製(東京)UXA-300を用いた。検体を薄いポリエチレン袋に入れ36°Cにて30分加熱後、臨床例と同様に共に温浴水槽中(36°C)にて測定した。またできるだけ臨床例の測定と同じような位置になるように検体を水槽中に自作の固定具にて固定し、踵骨後方要素中央部付近の測定(踵骨側方軸面での測定)を行った。両装置ともに踵骨中の超音波伝導速度(SOS: Speed of Sound; m/sec)および広帯域超音波減衰率(BUA: Broadband Ultrasonic Attenuation; 0.1~0.6MHzの超音波の骨を通過する時の減衰率の周波数あたりの傾き)を求めることができるが、UXA-300においてはBUAの算出において透過超音波をフーリエ変換して減衰の傾きを求めるかわりに、透過超音波の半値幅により減衰の傾きを近似して算出している<sup>15)</sup>。更にUXA-300は超音波の骨表面での反射時間を計測することにより骨幅(Width)を算出することができる機能を有している。またA-1000においてはSOSとBUAよりStiffnessというインデックスを算出するが、この値も臨床的に広く用いられており算出した。またUXA-300では超音波測定と同時にsingle x-ray absorptiometry (SXA)法にて同じ測定部でのbone mineral density (U-BMD; g/cm<sup>2</sup>)をも求めることが可能でありBMDを同時に測定した。同一検体を5回測定して得られたそれぞれの測定法での今回の測定精度はSOSで0.1~0.3%、BUAで3.1~3.5%であった。また骨幅は4.5%の精度にて測定可能であった。

踵骨の骨密度測定においては、Lunar社QDR-2000を用いて、踵骨全体につき踵骨側面よりの投射面積当たりの踵骨骨塩量つまり踵骨BMD(g/cm<sup>2</sup>)、投射面積(Area; cm<sup>2</sup>)、および踵骨全体の骨塩量(BMC; g)を求めた。さらに、踵骨後

方要素の超音波測定部位において、踵骨後方要素の前後軸に垂直な断面につきperipheral quantitative computed tomography装置(pQCT: XCT-960; Stratec-Norland社製)を用いて骨密度を測定した。PQCT法によって体積当たりの骨密度の測定が可能でありまた皮質骨と海綿骨部をそれぞれ分けて測定可能であるが、断面(幅4mm)の皮質骨密度(Cort-Dens; mg/cm<sup>3</sup>)、海綿骨骨密度(Trab-Dens; mg/cm<sup>3</sup>)、全断面積の平均骨密度(Tot-Dens; mg/cm<sup>3</sup>)、および皮質骨面積(Cort-Vox)、海綿骨面積(Trab-Vox)、全断面積(Tot-Vox)を求めた。同一検体における5回の測定によるこれら測定の測定精度はQDR-2000による踵骨BMD、骨面積、骨塩量がそれぞれ1.0%、0.5%、0.6%であった。またpQCTによる皮質骨密度、海綿骨骨密度、全断面積の平均骨密度、皮質骨面積、海綿骨面積、全断面積の精度は、それぞれ、2.0%、2.2%、2.5%、1.8%、2.2%、2.6%であった。

また、踵骨の破断強度との関連を検討する目的で、全ての測定を終えた後、強度測定装置(MZ-500D; マルトー社製)にて踵骨上部(距骨関節面より下方への圧力)よりの圧迫強度(最大破断強度; Maximum Stress; kgf)を測定した。

超音波測定指標と、各測定値との関連につき相関関係を検討した。

## 結 果

Table 1に各種測定成績の平均値と標準偏差を示している。これらの測定値は臨床例における同年例の測定値とほぼ一致した。またすべての測定値において男性の方が高値を示した。

超音波装置2機種間の測定値はその絶対値は異なる値を算出し、それぞれの間の超音波パラメータの相関は認めら

Table 1 Values of calcaneal measurements by ultrasonic, x-ray absorptiometric and pQCT methods. Mean and standard deviation are shown.

|                 | A-SOS<br>(m/s)                           | A-BUA<br>(dB/MHz)                        | Stiffness                                   | U-SOS<br>(m/s)              | U-BUA<br>(dB/MHz) | U-BMD<br>(g/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Male (n = 29)   | 1534 ± 40                                | 97.4 ± 23.2                              | 74.3 ± 23.6                                 | 1547 ± 56                   | 59.9 ± 23.3       | 0.600 ± 0.281                 |
| Female (1 = 31) | 1505 ± 23                                | 81.0 ± 17.6                              | 55.5 ± 13.7                                 | 1525 ± 41                   | 36.2 ± 17.6       | 0.291 ± 0.163                 |
| Total (n = 60)  | 1519 ± 35                                | 88.9 ± 21.9                              | 64.6 ± 21.2                                 | 1535 ± 50                   | 47.7 ± 23.6       | 0.440 ± 0.274                 |
|                 | Width<br>(cm)                            | Area<br>(cm <sup>2</sup> )               | BMC<br>(g)                                  | BMD<br>(g/cm <sup>2</sup> ) |                   |                               |
| Male (n = 29)   | 3.03 ± 0.37                              | 25.6 ± 1.6                               | 15.2 ± 3.5                                  | 0.592 ± 0.126               |                   |                               |
| Female (1 = 31) | 2.59 ± 0.48                              | 18.4 ± 2.8                               | 7.4 ± 2.7                                   | 0.400 ± 0.115               |                   |                               |
| Total (n = 60)  | 2.80 ± 0.48                              | 21.9 ± 4.3                               | 11.2 ± 5.0                                  | 0.493 ± 0.153               |                   |                               |
|                 | Density (Total)<br>(mg/cm <sup>3</sup> ) | Density (Trab.)<br>(mg/cm <sup>3</sup> ) | Density (Cortical)<br>(mg/cm <sup>3</sup> ) | Voxels (Total)              | Voxels (Trab.)    | Voxels (cortical)             |
| Male (n = 29)   | 221.3 ± 60.7                             | 166.0 ± 50.1                             | 266.4 ± 73.3                                | 1173 ± 118                  | 528 ± 53          | 646 ± 65                      |
| Female (1 = 31) | 145.2 ± 48.0                             | 104.1 ± 41.2                             | 178.8 ± 59.7                                | 927 ± 149                   | 417 ± 67          | 510 ± 82                      |
| Total (n = 60)  | 182.0 ± 66.3                             | 134.0 ± 55.0                             | 221.1 ± 79.5                                | 1046 ± 183                  | 471 ± 82          | 576 ± 101                     |

A-SOS: SOS measured by A-1000, A-BUA: BUA measured by A-1000, U-SOS: SOS measured by UXA-300, U-BUA: BUA measured by UXA-300, U-BMD: BMD measured by UXA-300, Width: bone width at posterior portion of the calcaneus measured by UXA-300, Area: Projection area of the calcaneus measured by QDR-2000, BMC: bone mineral content (g) of the calcaneus measured by QDR-2000, BMD: BMD of the calcaneus measured by QDR-2000, Density: bone mineral density measured by XCT-960, Voxels: voxels number assessed by XCT-960.

Table 2 Correlation among parameters measured by two QUS-machine. R-values and p-values are shown.

|           | Stiffness | A-SOS    | A-BUA    | U-SOS    | U-BUA |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------|
| Stiffness |           | 0.793    | 0.913    | 0.377    | 0.630 |
| A-SOS     | < 0.0001  |          | 0.476    | 0.562    | 0.496 |
| A-BUA     | < 0.0001  | 0.0001   |          | 0.175    | 0.581 |
| U-SOS     | 0.033     | < 0.0001 | 0.1861   |          | 0.516 |
| U-BUA     | < 0.0001  | < 0.0001 | < 0.0001 | < 0.0001 |       |

れたが、相関係数はSOS間で0.562, BUA間で0.581と高いものではなかった(Table 2)。

Fig 1A, Bにこれら超音波パラメータと骨量測定パラメータとの相関を示す。SOSは両装置の測定値ともにpQCTによる骨密度値と比較的高い正相関(相関係数0.601~0.742)を示し、骨の投射面積(Area)、断面積、幅などとはほとんど相関を示さなかった(相関係数-0.051~0.363)。踵骨BMDとはpQCTによる骨密度測定値より相関が低く、また踵骨BMCとは踵骨BMDよりさらに低い相関を示した。つまり体積当たりの骨密度そのものともっとも相関が高く、骨の大きさや体積の因子とは相関がないかあるいはそのような因子が入ると相関は下がった。海綿骨と皮質骨との間にSOSとの相関の差は顕著にみられなかった(Fig 1A)。

一方、BUAは2機種とも踵骨BMCと最も相関が高く、以下、踵骨BMDあるいは踵骨Area、そしてpQCTによる骨密度という順(2機種の相関の平均値で比較)でありSOSの場合と逆の順であった。さらに断面積や骨幅のような骨の大きさを表わす因子とも弱い相関傾向(相関係数0.341~0.392,  $p < 0.05$ )が認められた(Fig 1B)。

各種骨量測定パラメータと踵骨全体を上部より圧迫して

破断する破断強度との相関とFig 2に示す。U-BMD、骨幅、断面積をのぞきすべてのパラメータと有意( $p < 0.05$ )の弱い相関が認められた。超音波指標と骨密度測定との間にはその相関の程度にほとんど差は認められなかったが、最も高い相関が認められたのはStiffness(相関係数0.483,  $p < 0.001$ )であった。

骨強度に対して超音波測定が骨密度測定に加えて更に別の意味をつけ加えるかどうかをしらべる目的で、重回帰分析を行った(Table 3)。多くの組合せの検討を行ったが、大きく相関関係を改善する回帰式は得られなかった。最高の組合せはTot-DensとStiffnessとを変数とした時に認められたが、それでもStiffness単独に比し相関係数は0.483から0.515へと増加するにとどまった。

## 考 察

超音波法による骨量測定は、近年大きく発展し、数多くの機種が登場し、わが国においては特に検診などに広く用いられている<sup>5)</sup>。超音波法の臨床に関する成績も集積しつつあり、単なる骨密度測定とは異なる、超音波法の意義を指

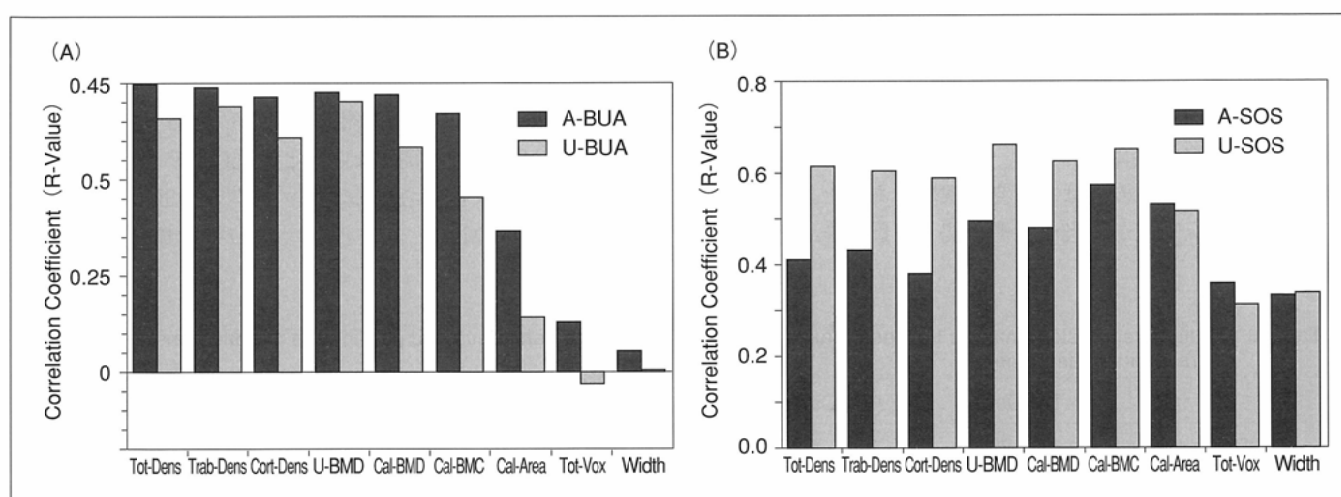


Fig.1 Correlations between speed of sound (SOS) and bone mineral densities or other parameters measured by SXA, DXA and pQCT in the calcaneus (Fig 1A) and between broadband attenuation (BUA) and values measured by SXA, DXA and pQCT in the calcaneus (Fig 1B).

Both SOS and BUA were assessed with two different US machines (A-1000 shown in dark bar and UXA-300 in dotted bar) and correlation coefficients (R-values) of simple regression are shown. Tot-Dens: total density measured by pQCT, Trab-Dens: Trabecular density measured by pQCT, Cort-Dens: Cortical density measured by pQCT, U-BMD: Calcaneal BMD measured by SXA (UXA-300), Cal-BMD: Calcaneal BMD measured by QDR-2000, Cal-BMC: Calcaneal BMC measured by QDR-2000, Cal-Area: Calcaneal projection area measured by QDR-2000, Tot-Vox: Voxel number of the total cross-sectional area measured by pQCT, Width: calcaneal bone width measured by ultrasound technique (with UXA-300)

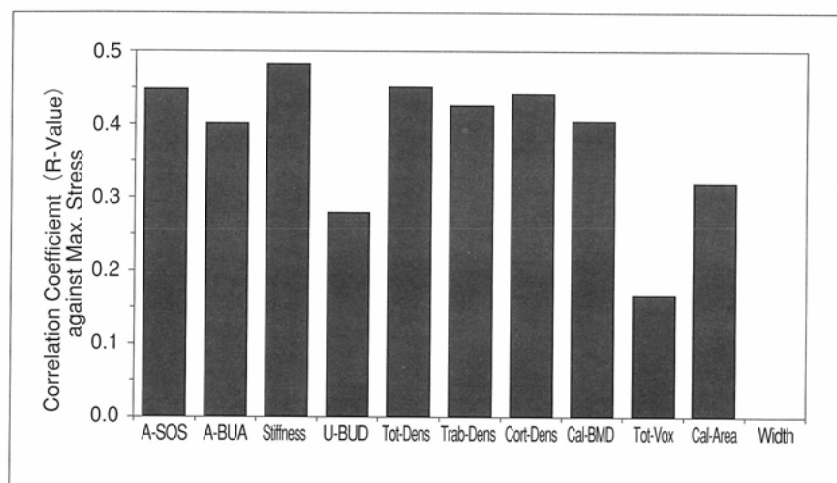


Fig.2 Correlations between bone strength and measured parameters with ultrasonic or X-ray absorptiometric methods.

Correlation coefficients (R-values) of simple regression with maximum stress (breaking strength) are shown. Ultrasound parameters almost equal to parameters obtained with X-ray absorptiometry. A-SOS: SOS measured by A-1000, A-BUA: BUA measured by A-1000, Stiffness: Stiffness measured by A-1000, U-BMD: calcaneal BMD measured by SXA (using UX-300), Trab-Dens: Trabecular density measured by pQCT, Cort-Dens: Cortical density measured by pQCT, Cal-BMD: Calcaneal BMD measured by QDR-2000, Tot-Vox: Voxel number of the total cross-sectional area measured by pQCT, Cal-Area: Calcaneal projection area measured by QDR-2000, Width: calcaneal bone width measured by ultrasound technique (with UX-300).

摘する発表も行われている<sup>6)-8)</sup>。成人においては骨密度との相関は高いもの、骨折の予知においてはDXA法などによる骨密度測定と大差なく、測定法の簡便性からもその意義を支持する報告が多い<sup>15),16)</sup>。インビトロでの検討成績も数多く報告されているが、骨密度だけではなく骨の構造あるいは骨の質を表わす方法として期待する報告もある<sup>9)</sup>。一方で骨密度が最も骨強度と関連しており、超音波法によるそれ以上の意義の付加を否定しているものもある<sup>13),14)</sup>。現在もその測定意義があいまいなまま骨量の簡便な評価法として臨床に超音波法が用いられているが、測定値の意義を再確認する必要があると思われる。そこでわれわれは今回摘出踵骨を用いて臨床に用いられている超音波装置2機種にて超音波パラメータを求め、他の方法にて測定された測定値と比較検討し、超音波測定の意義について基礎的な検討を行った。特に、超音波指標としてひろく用いられている伝導速度(SOS)と広帯域超音波減衰率(BUA)について骨密度や骨の大きさなどとの関連について検討し、また、踵骨の圧迫強度との関連について検討を加えた。

われわれの今回の検討に際し、新鮮な摘出踵骨が入手不可能なため、剖検検体(10%ホルマリン固定)を用いたが、ホルマリン固定が超音波パラメータや骨強度に影響を与える可能性があり、この点は本研究の限界であると思われるが、ホルマリン固定が超音波指標に関して影響をどの程度

与えるかに関して、前もって検討した。つまり、死後6時間以内に摘出された椎体骨を踵骨超音波測定装置(A-1000)にて超音波測定し、10%ホルマリン液にて固定し4°Cにて保存し、経時的に超音波指標が変動するかを11カ月にわたって検討した(今回用いた検体の保存期間にはほぼ等しい)。最終的にはSOSは $1586 \pm 17 \text{ m/sec} \rightarrow 1597 \pm 2 \text{ m/sec}$ 、BUAは $82 \pm 5 \text{ dB/mHz} \rightarrow 85 \pm 3 \text{ dB/mHz}$ と漸増したものの著変は認めなかった。このことより少なくとも1年間のホルマリン固定は超音波測定には大きな影響を与えないものと思われた。また今回の超音波による測定値は臨床例における同年代の成績と類似しておりホルマリン固定そのものは超音波指標に対してほとんど影響を与えないものと推定される。

今回2つの異なる超音波測定装置を用いたが2機種ともに水槽中に被験部をひたして測定する装置であり、用いている超音波周波数や測定原理には大差ない。しかしながら、インビトロの検体にて両者間の測定値の相関はあまり高いものではなかった(Table 2)。その理由は明らかでないが、検体の設置方法による誤差が最も大きいものと思われる。臨床的に3機種にて超音波測定パラメータの相関を検討した成績ではそれら相互の相関は相関係数 $0.6 \sim 0.85$ でありX線を用いる方法ほど相関が高くないことは既に知られている<sup>4)</sup>。

超音波法にて測定されるパラメータの内SOSはQCTにて測定されるdensity、つまり体積当たりの骨塩量と最もよく

Table 3 Multiple regression analysis between maximal strength of breaking calcaneus and parameters of bone densitometry or ultrasound measurement.

|           | Tot-Dens   | Cal-BMD    | Stiffness  | A-SOS      | A-BUA   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|---------|
| Tot-Dens  | (0.425)    | 0.434      | 0.515      | 0.466      | 0.503   |
| Cal-BMD   | p = 0.0026 | (0.377)    | 0.494      | 0.452      | 0.463   |
| Stiffness | p = 0.0002 | p = 0.0003 | (0.483)    | 0.493      | 0.494   |
| A-SOS     | p = 0.0009 | p = 0.0015 | p = 0.0004 | (0.443)    | 0.493   |
| A-BUA     | p = 0.0002 | p = 0.0010 | p = 0.0003 | p = 0.0004 | (0.401) |

Correlation coefficient and p values of the regression line for each combination are shown. Single regression results are also shown in parentheses [ ( ) ]. Although some increases in each combination of variables were observed, there are no great increment of correlation coefficients.

相関し、骨の大きさを表わす指標との関連は少なかった。つまりSOSは骨の大きさよりも骨の密度そのものと関連の深いパラメータであることが示された。一方、BUAが最も高い相関を示したのはBMC(骨塩量の絶対値)、面積(Area)、およびBMD(面積当たりの骨密度)であり、また断面積(Voxel)や骨幅とも弱い相関がみられ骨密度とともに骨の大きさによっても影響される因子であることが示された。理論的に超音波の伝導速度は物質のヤング率と密度とに規定されるが、骨のヤング率は骨密度と強い関連があるため、結局は骨密度に規定される因子であり、SOSは骨密度と正相関すると考えられる<sup>17)</sup>ので今回の成績はこのことを裏付けたものと思われる。一方、超音波の減衰は超音波の通過距離によっており、また通過する物質の量とも関連すると思われるので、BUAが骨の大きさと同時に骨密度とも相関するという今回の成績は理論的にも矛盾しない。つまりSOSは真の骨密度を反映し、BUAは骨の大きさと骨密度の両方を含めて反映する因子である。BUAは従ってDXA法におけるBMDという指標と似ているといえる。この結論は、臨床成績において踵骨SOSが体格の影響を受けない因子であるという成績<sup>3)</sup>や、踵骨BUAの年齢変化が踵骨DXAの年齢変化のパターンと類似するという成績<sup>18)</sup>とも合致する。

超音波指標がDXA法などにて得られるBMDという指標に比し骨強度とどの程度関連があるかどうかを検討する目的で、最終的に破断実験を行った。破断実験ではTable 3に示す如く最大破断強度と最も高い相関が見られたのはStiffness

値(つまりSOSとBUAの和)であった(Table 3)。超音波指標はSXAやpQCTによる骨密度測定に比し同等以上の骨強度との関連を示した。これは多くの臨床成績<sup>7)-9)</sup>と合致する成績であり、X線を用いて骨塩量を測定する方法と、超音波による測定とは骨折予知においてほとんど同等であるという成績と矛盾しない。今回超音波法と骨塩量測定法との組み合わせを検討したが組み合わせにより大きな骨強度評価の改善は得られなかった。このことはX線による方法と超音波による方法とはほとんど同じものを表わしていることを示唆している。なお、今回の骨強度実験はホルマリン固定した骨を用いており、生体での骨強度とは異なっている可能性があることはこの研究の限界であり指摘しておかねばならない。

## 結 語

インビトロの実験によりSOSやBUAという超音波指標の意味を検討したがSOSは骨密度を、BUAは骨の大きさと骨密度の合わさったものを反映していることを示した。また超音波指標はX線による測定と同等以上の骨強度との関連を示した。超音波による測定は放射線を用いないという点で簡便であり、しかも骨強度をDXA法などによる骨密度測定と少なくとも同程度に表わすとすれば、臨床的にきわめて有望である。今後機器の改良により、より精度の高い測定法へと改良されればその有用性はさらに高まるとと思われる。

## 文 献

- 1) Bonfield W, Tully AE: Ultrasonic analysis of the Young's modulus of cortical bone. *J Biomed Eng* 4: 23-27, 1982
- 2) Langton CM, Palmer SB, Porter RW: The measurement of broadband ultrasound attenuation in cancellous bone. *Engineering in Medicine* 13: 89-91, 1984
- 3) 游 逸明, 山本逸雄, 大中恭夫, 他: 超音波を使用した踵骨骨強度測定の臨床的有用性について. *日本医放会誌* 53: 1340-1346, 1993
- 4) Genant HK, Engelke K, Fuerst T, et al: Noninvasive assessment of bone mineral and structure: state of the art. *J Bone Miner Res* 11: 707-730, 1996
- 5) 游 逸明, 山本逸雄, 浜中(山村)恭代, 他: 骨粗鬆症検診についてー踵骨超音波法と尿中骨代謝マーカー測定ー. *Osteoporosis Jap* 4: 663-665, 1996
- 6) Gluer CC, Cummings SR, Bauer DC, et al: Osteoporosis: association of recent fractures with quantitative US findings [see comments]. *Radiology* 199: 725-32, 1996
- 7) Turner CH, Peacock M, Timmerman L, et al: Calcaneal ultrasound measurements discriminate hip fracture independently of bone mass. *Osteoporosis Int* 5: 130-135, 1995
- 8) Hans D, Dargent-Molina P, Schott AM, et al: Ultrasonographic heel measurements to predict hip fracture in elderly women: the EPIDOS prospective study. *The Lancet* 348: 511-514, 1996
- 9) Ashman RB, Corin JD, Turner CH: Elastic properties of cancellous bone: Measurement by an ultrasonic technique. *J Biomech* 20: 979-986, 1987
- 10) Gluer CC, Wu CY, Genant HK: Broadband Ultrasound Attenuation signals depend on trabecular orientation: An in vitro study. *Osteoporosis Int* 3: 185-191, 1993
- 11) Turner CH, Eich M: Ultrasonic velocity as a predictor of strength in bovine cancellous bone. *Calcif Tissue Int* 49: 116-119, 1991
- 12) Hans D, Arlot ME, Schott AM, et al: Do ultrasound measurements on the os calcis reflect more the bone microarchitecture than the bone mass?: A two-dimensional histomorphometric study. *Bone* 16: 295-300, 1995
- 13) Buxsein ML, Radloff SE: Quantitative ultrasound of the calcaneus reflects the mechanical properties of calcaneal trabecular bone. *J Bone Miner Res* 12: 839-846, 1997
- 14) Langton CM, Njeh CF, Hodgkinson R, et al: Prediction of mechanical properties of human calcaneus by broadband ultrasonic attenuation. *Bone* 18: 495-503, 1996
- 15) Heaney RP, Avioli LV, Chestnut CH et al: Osteoporotic bone fragility: Detection by ultrasound transmission velocity. *JAMA* 261: 2986-2990
- 16) Gluer CC: Quantitative ultrasound techniques for the assessment of osteoporosis: Expert agreement on current status. *J Bone Miner Res* 12: 1280-1288, 1997
- 17) 山本逸雄, 森田隆司: 超音波法による骨粗鬆症の診断. *病態生理* 14: 444-448, 1995
- 18) 浜中恭代, 山本逸雄, 游 逸明, 他: 超音波指標の意味に関する検討. 第4回日本骨形態計測学会発表, 1995, 11 浜松