



Title	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
Author(s)	游, 逸明; 山本, 逸雄; 大中, 恭夫 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1993, 53(11), p. 1340-1346
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16602
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

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

滋賀医科大学放射線科

游 逸明 山本 逸雄 大中 恭夫 高田 政彦
中島 言子 増田 一孝 村田喜代史 森田 陸司

（平成4年8月3日受付）

（平成5年1月19日最終原稿受付）

Clinical Evaluation of Ultrasonic Measurement of the Calcaneal Bone

Itsuki Yuh, Itsuo Yamamoto, Yasuo Ohnaka,
Masahiko Takada, Kotoko Nakajima, Kazutaka Masuda,
Kiyoshi Murata and Rikushi Morita

Department of Radiology, Shiga University of Medical Science

Research Code No. : 203.1

Key words : Bone mineral measurement,
Ultrasound, Calcaneus,

We measured the speed of sound (SOS) and broadband ultrasound attenuation (BUA) in the calcaneal bone and compared those values with bone mineral density (BMD) as assessed by single X-ray absorptiometry and dual energy X-ray absorptiometry.

Calcaneal speed of sound and broad band ultrasound attenuation showed an earlier decrease with age than lumbar BMD. Calcaneal SOS and BUA correlated well with calcaneal BMD. Calcaneal SOS correlated more closely with neck BMD than lumbar BMD measured by DXA. Furthermore, measurement of calcaneal SOS is more useful than measurement of lumbar BMD to evaluate femoral neck BMD, which might be very important for clinical purposes. Both body weight and height correlated well with calcaneal BMD but not so well with calcaneal SOS or BUA. As ultrasound emits no radiation, we can use it without the restriction of radiation protection.

1. はじめに

高齢化社会の到来とともに、骨粗鬆症は重要な問題になりつつある。中でも骨粗鬆症に伴う大腿骨頸部骨折は、老人の寝たきりとなる原因の二番目に多いものであり、それが引き金となって寝たきりとなると、本人のみならず家族や社会にも大きな影響を与えることが多い。現時点においては骨粗鬆症は治療よりもその予防法が重要で、Peak Bone Mass の増加及び早期の骨塩減少の予防が大切である。この点において骨塩量の定量は

重要な役割を担っていると考えられる。近年、骨密度測定法は Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) による腰椎骨密度の測定が広まりつつある^{1),2),3)}が、腰椎は老年者になると変形性脊椎症や腹部大動脈の石灰化のため、むしろ見かけの骨密度が上昇することがあり、また腰椎の骨密度が臨床上、より重要な大腿骨頸部の骨密度を必ずしも正確には反映しない。さらには装置が大きく、かつまた微量とはいえX線を放出することもある、簡便に施行できないという問題

点を抱えている。一方、近年超音波を骨に放射して、それが骨を通過するスピードや、超音波の減衰率を測定することにより、骨の密度を推定しようとする報告がある⁴⁾。今回我々は踵骨における超音波の伝ばん速度及び減衰率を測定し、DXA 法で測定した全身各部の骨密度や、Single Energy X-ray Absorptiometry (SXA) 法⁵⁾で測定した踵骨骨密度と比較し、超音波法によって骨量を定量する Ultrasound Bone Densitometry (USD) 法の臨床的意義に関する検討を行ったのでその成績を報告する。

2. 使用装置及び対象と方法

(1) 超音波骨強度測定法の原理

一般に超音波が物質を通過する速度を v とすると $v = (Y/d)^{1/2}$ が成り立つことが知られている。ここで Y はコンプライアンス (N/m^2) を、 d は通過した物質の密度を表す。コンプライアンスとは物質に力を加えた時のその物質の変形の度合いを示したもので、コンプライアンスが大きいほどその物質は変形しにくいことを示す。そして海綿骨においては Y が d^3 に比例するという報告がある⁶⁾。従ってこの式は v が密度 d に比例するということを示している。この超音波の伝ばん速度は温度に影響されるので、測定にあたっては温度を一定に保つ必要がある。

一方、広帯域の周波数を持つ超音波が物質を通過する際、各帯域が吸収される割合は、通過する物質の種類や密度により異なる。この各帯域の吸収された後の大きさをスペクトラムとして、通過させる物質ごとに描くことができるが、水だけを通過したスペクトラムとその中に踵骨を入れて踵骨と水を通過したスペクトラムとの差を求める、純粹に踵骨による吸収スペクトラムを得ることができ、それがほぼ直線であることが知られている。今回、この広帯域超音波吸収 (Broadband ultrasound attenuation; BUA) についても検討した。

(2) 使用装置および測定法

Lunar 社 (米国) 製超音波測定装置 (Achilles) を用いた。対象部位は踵骨である。恒温槽

(37°C) に踵部をつけることにより温度を一定に保つ。超音波トランスデューサー (径 2.54 cm) は、この水槽をはさむ形であり、その間の距離は 8.5 cm である。一方のトランスデューサーより、中心周波数 0.4 MHz の超音波のパルスが発信され、他方で受信する。骨での伝ばん速度は踵を水槽に入れた時と、水のみの時の通過時間の差により計測される (Speed of Sound; SOS m/s)。一方広帯域超音波減衰は 0.1~0.6 MHz の超音波の水槽での減衰をコントロールとし、踵を水槽中に入れた時の超音波の減衰を求め、踵骨での各周波数の超音波減衰を算出する。この減衰は超音波の周波数と正相関する。そして、その相関式の傾きを Broadband ultrasound attenuation (BUA dB/MHz) として求めた。これらの測定において空気の介在は著しく測定値に影響を与えるので、足の表面をエタノール水にて良く拭いてから踵を水槽に入れた。

(3) 対象と方法

USD 法を使って、健常者 5 名 (25 歳から 47 歳まで、平均 36 歳) に対して、5 週連続して 5 回の踵骨 SOS, BUA を測定し、再現性の程度を計測した。

次に 18 歳~95 歳、平均 58 歳の糖尿病、肥満、リューマチなど諸種の疾患を含む患者及び健常者合わせて 130 名 (男 35 名、女 95 名) に対して、踵骨 SOS と BUA を測定して、まずそれらの値の年齢分布を求めた。さらに体重、身長との関係も合わせて検討した。続いて同一人において DXA 法 (Lunar 社製 DPX-L) を用いて全身、腰椎 (L2~L4)、大腿骨頸部の各骨密度を、また SXA 法 (Osteon 社製 Osteoanalyzer) を用いて踵骨の骨密度を測定して、USD 法で測定した SOS, BUA 値と比較し、その相関を検討した。

3. 結 果

本法の再現性の検討では、5 週連続の健常者の踵骨測定において SOS の測定値の変動係数が 0.1%~0.8% 平均 0.4%, BUA 0.5%~7.0% 平均 4.5% であった (Table 1)。

諸種の疾患患者に対して測定された SOS と

Table 1 Precision of SOS and BUA in the measurement of calcaneal bone. Short-term precision of ultrasound determinations in vivo was measured on 5 normal subjects every week over a five-week period.

	SOS (m/s)			BUA (dB/MHz)		
	Mean	SD	CV%	Mean	SD	CV%
1	1555.0	10.5	0.6	119.6	8.3	7.0
2	1599.0	8.4	0.4	121.0	0.6	0.5
3	1597.0	12.5	0.8	110.0	5.0	4.5
4	1587.0	5.5	0.3	117.5	5.9	5.0
5	1578.0	1.8	0.1	73.8	4.2	5.7

BUA の年齢分布では、共に 20 歳代はじめから低下し始め、年齢が進むにつれて比較的均一な低下が見られ、70 歳代まで低下が認められた (Fig. 1).

踵骨 SOS は踵骨 BMD と一番強く相関し、正の相関関係 ($r=0.756$, $p<0.001$) が認められた。また踵骨 BUA も踵骨 BMD と正の相関が見られた ($r=0.617$, $p<0.001$) (Fig. 2)。踵骨 SOS と他の部位の BMD の測定値に関しては、大腿骨頸部 ($r=0.691$)、全身骨 ($r=0.650$)、腰椎骨密度 ($r=0.467$) の順に相関が大きかった (Fig. 3)。同様に踵骨 BUA と他の部位の BMD との比較では、大腿骨頸部 ($r=0.663$)、全身骨 ($r=0.574$)、腰椎 ($r=0.447$) の順にこれらの骨

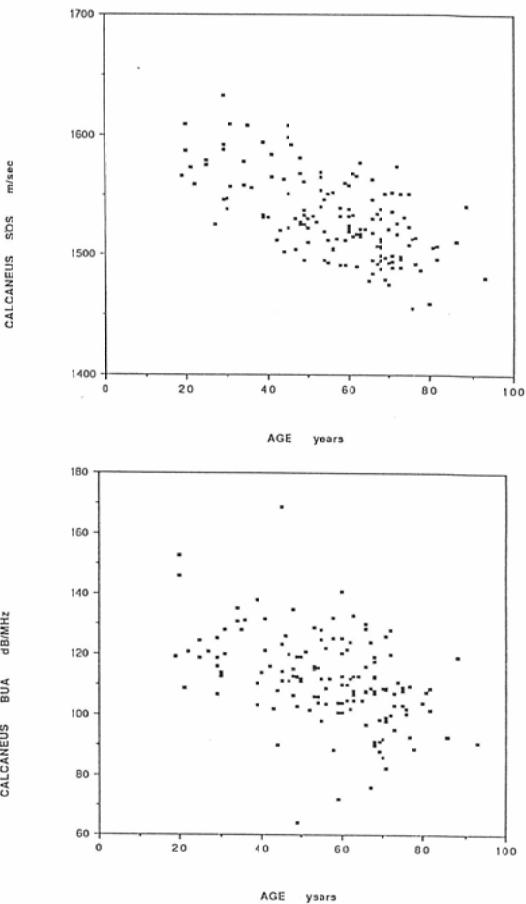


Fig. 1 Age distribution of calcaneal SOS and BUA : SOS declined linearly after the 2nd decade.

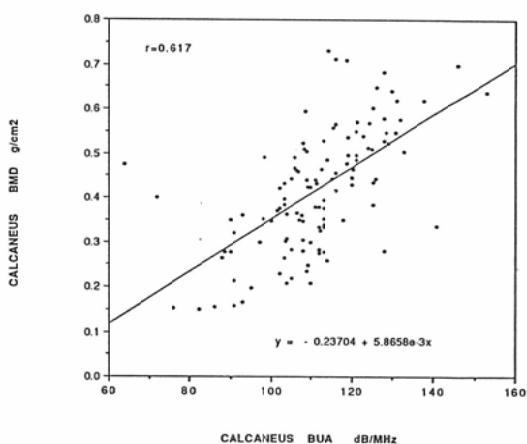
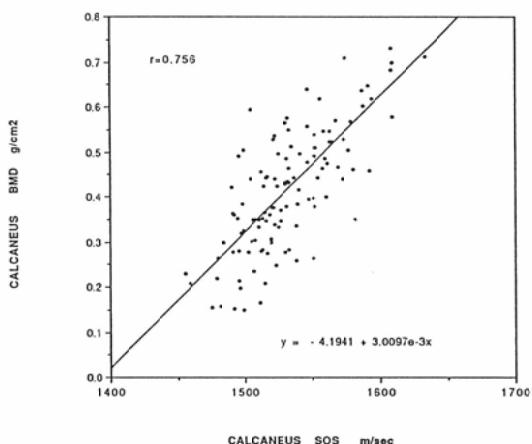


Fig. 2 Correlation of calcaneal BMD with calcaneal SOS (upper), and with calcaneal BUA (lower). Calcaneal SOS and BUA correlated well with calcaneal BMD.

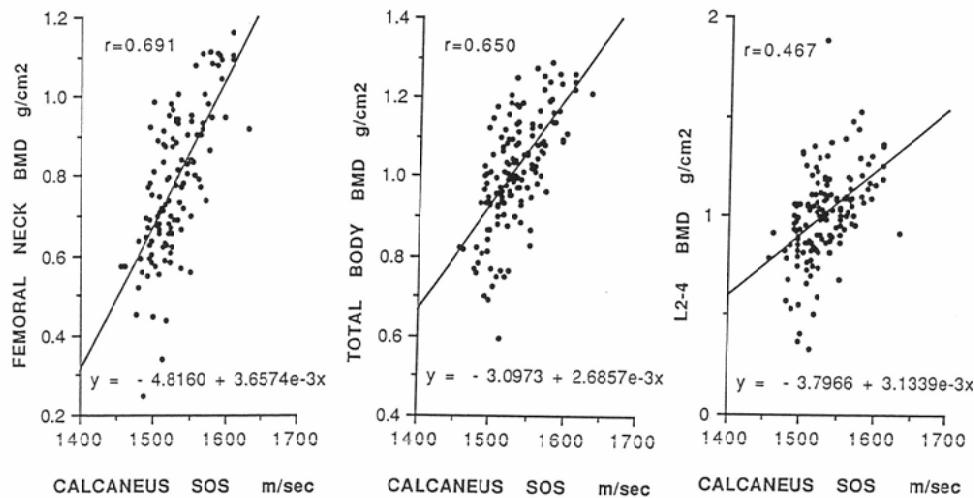


Fig. 3 Correlation of calcaneal SOS with femoral neck BMD, total body BMD and lumbar BMD: Calcaneal SOS correlated more with femoral neck BMD than lumbar BMD.

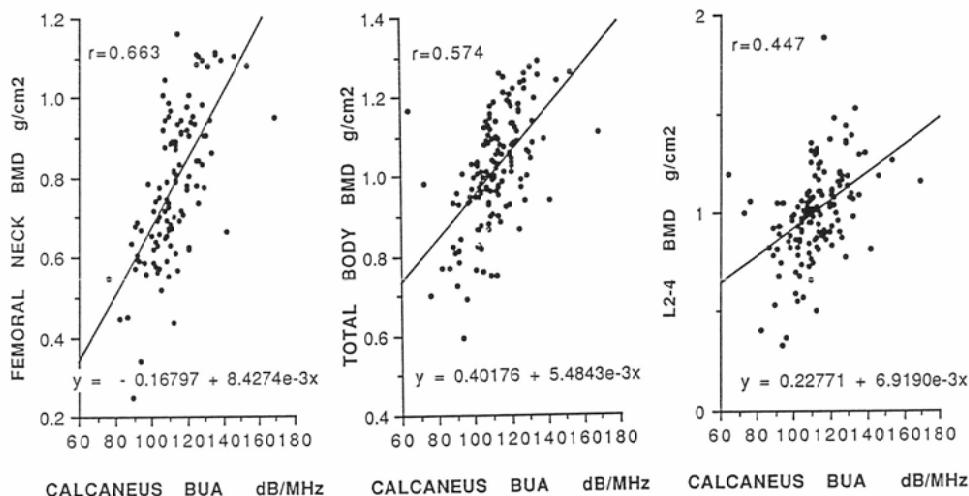


Fig. 4 Correlation of calcaneal BUA with femoral neck BMD, total body BMD and lumbar BMD: Calcaneal BUA correlated more with femoral neck BMD than lumbar BMD.

密度と相関が大きかった (Fig. 4). なお腰椎骨密度の全身各部の骨密度との相関係数は、全身骨 ($r=0.801$), 大腿骨頸部 ($r=0.668$), 跡骨 ($r=0.660$) であった。踵骨 SOS, BUA の体重, 身長との関係においては, SOS と体重の相関係数が $r=0.276$, 身長 $r=0.411$ を示し (Fig. 5), BUA と体重の相関係数は $r=0.497$, 身長 $r=0.406$ を示した (Fig. 6). なお踵骨 BMD と体重の相関係数は $r=0.654$, 身長 $r=0.616$ であった (Fig. 7).

4. 考 案

骨粗鬆症の早期発見, 早期治療及び治療経過の観察に DXA 法が優れている^{7,8)}ということは広く知られており, DXA 法を用いた骨塩定量装置が多くの施設で使用されている。しかし一方で, DXA 法で測定対象となる腰椎は, 特に 65 歳以上の老年者では変形性脊椎症の好発部位であり, この影響を大きく受け骨密度値が高値となりやすく, 骨密度を正確に知り得ないばかりか, 治療効

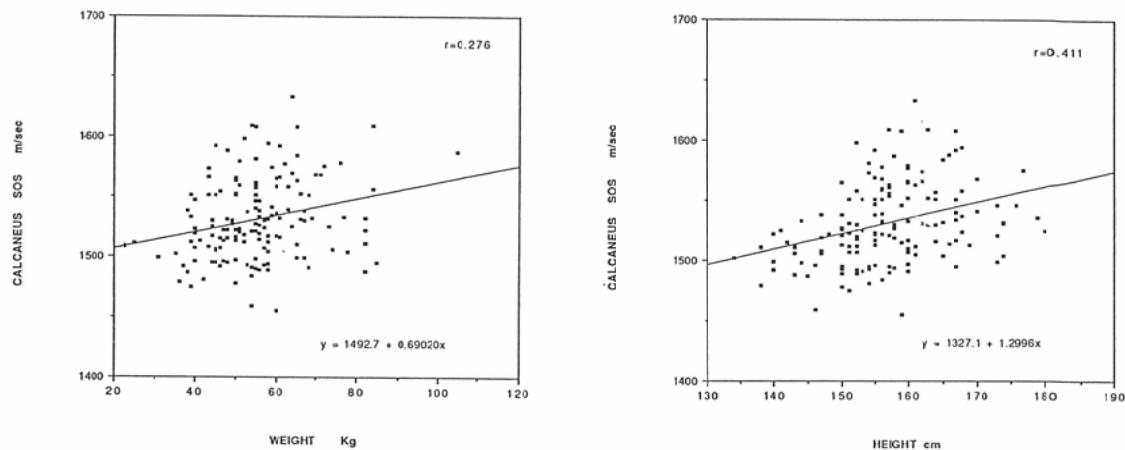


Fig. 5 Relationship of calcaneal SOS with body weight (upper) and with body height (lower) : Correlation was small.

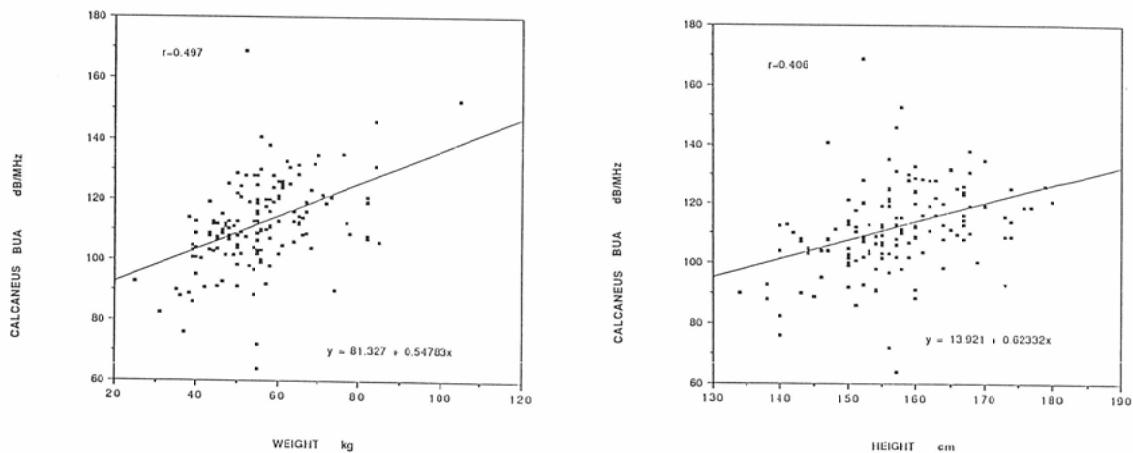


Fig. 6 Relationships of calcaneal BUA with body weight (upper) and with body height (lower) : Correlation was small.

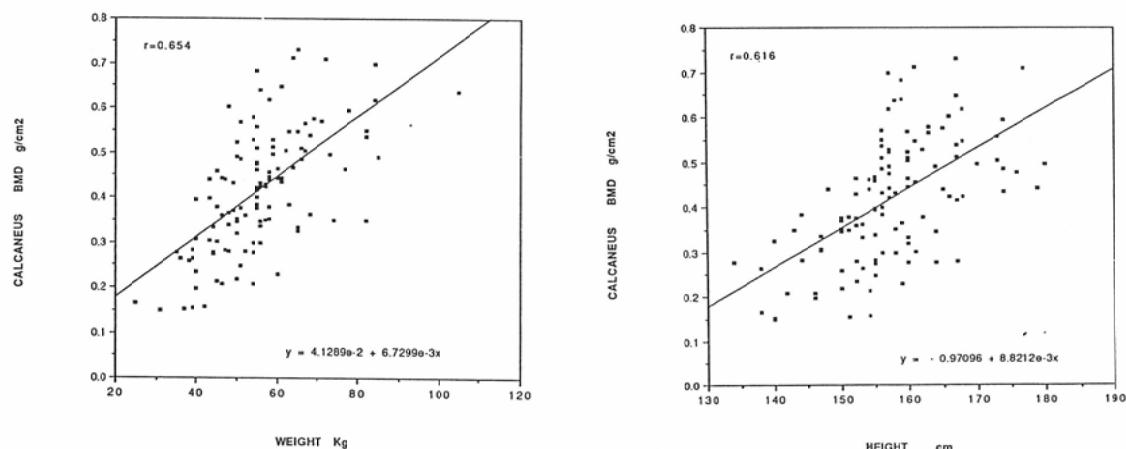


Fig. 7 Relationships of calcaneal BMD with body weight (upper) and with body height (lower) : Both body weight and height correlated well with calcaneal BMD.

果判定が多くの症例で困難である。一方、臨床上特に重要な問題となる大腿骨頸部の骨密度は、その解剖学的特性から再現性が悪く臨床応用が困難である。さらに、DXA 機は微量とはいえ X 線を放出するため特定の管理区域を必要とし、それが DXA 機の簡便な使用の妨げにもなっている。このような状況のなか、超音波法による骨密度測定が注目されつつある。

今回我々が行った本超音波骨強度測定の再現性は SOS 値で DXA 法のそれ⁷⁾を上回り、一方 BUA 値ではやや下回ったが、臨床上骨強度判定において超音波法がその再現性に関して十分使用可能と思われた。

踵骨 SOS 及び BUA の年齢分布においては、20 歳代からすでに値の低下がみられ、それは 60 歳以降も持続した。これは 40 歳代まで比較的プラトーで、その後急に骨密度が減少し、60 歳代以降になるとあまり変化がみられないか、むしろ値が上昇してしまう DXA 法測定による腰椎骨密度の年齢分布⁷⁾とはあきらかに異なる傾向を示した。しかし、踵骨骨塩量の年齢分布とは比較的類似した傾向であった。踵骨 SOS の年齢分布の傾向は、QCT 法による腰椎骨密度の年齢分布¹⁰⁾に類似しており、踵骨 SOS が腰椎の海綿骨の骨梁の状態をより強く反映しているものと推測された。

踵骨 SOS, BUA はともに踵骨 BMD と一番強く正に相関した。このことは、超音波法によって測定された SOS, BUA は直接骨密度を測定してはいないが、その部位の骨密度の状態を大変よく表していることを意味する。

一方踵骨 SOS 値は、大腿骨頸部の骨密度とも良く相関し、腰椎骨密度の大軽骨頸部骨密度に対する相関係数を上回った。このことは大腿骨頸部の骨の強さの評価は、USD 法で得られた SOS 値にて行う方が、腰椎の骨密度から推測するよりも、より信頼性があることを示唆している。一方踵骨 BUA は大腿骨頸部 BMD との相関係数が $r = 0.663$ と SOS のそれより低く、腰椎 BMD と大腿骨頸部 BMD との間の相関係数 $r = 0.668$ とほぼ同じであった。今回 BUA に関しては、全身

各部位の骨密度のなかで、腰椎骨密度と全身各部位の骨密度との間の相関を、有意に上回る相関を示す部位はみられなかった。

踵骨 SOS, BUA の体重、身長との相関係数は 0.5 以下で、踵骨 BMD の体重、身長との相関係数 $r = 0.6$ 前後と比べて低い値を示した。このことは踵骨骨密度が身体の受ける重力の大きさを良く反映するが、超音波による測定は単なる骨密度のみを反映するものではないということを示唆している。

USD 法は超音波を用いるため X 線が放出されず、特に今回使用した装置は、そのサイズが小さいことによって設置場所に気を使うことなく、まったく安全に検査が施行し得た。この装置であれば近い将来、健診車等に設置することによっても、健診で気軽に使用可能であろうと思われる。さらに背部痛や著しい亀背のために、しっかりととした仰臥位の姿勢をとることが困難な患者に対しても、本装置による測定が不都合なく行えた。以上より USD 法は DXA 法より、さらに広い範囲の対象者に対して、骨強度の判定及び追跡が可能であろうと思われた。

5. 結 語

1. 超音波骨強度測定装置を用いて踵骨骨強度測定を行い、その臨床的有用性について検討を加えた。

2. 今回使用した USD 法による測定値の再現性は、SOS 値で実用上十分なレベルであった一方、BUA 値の再現性はやや悪く、BUA 値の骨強度モニターのフォローでの使用に問題を残した。

3. 跖骨 SOS 及び BUA 値の年齢分布においては、DXA 法で測定された腰椎骨密度の年齢分布と比べて、より早い時期からの値の減少がみられる傾向を示した。このことは踵骨 USD 測定法が DXA 法での測定に比べて、より早い時期から骨強度減少を捉えられることを意味し、骨塩量減少に対する早期からの予防的治療が可能となることが示された。

4. 跖骨 SOS, BUA は踵骨 BMD とよく相関

した。

5. 本法による SOS 値は DXA 法によって測定された腰椎骨密度値より、大腿骨頸部骨密度をより良く反映し、臨床上重要な大腿骨頸部骨折の予防の指標には腰椎骨密度測定よりも、優れた指標になる可能性が示唆された。

6. 跖骨 SOS, BUA は跖骨 BMD に比べると体重、身長との相関は低く、超音波による骨強度測定は単なる骨密度のみを反映するものではないということを示唆していると思われた。

7. 今回使用した USD 法は、放射線管理区域での使用を必要とせず、通常の DXA 装置より小型で、また仰臥位困難な患者に対しても容易に検査が行え、より手軽に骨強度のモニタリングが行えると思われた。

文 献

- 1) 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
- 2) 森田陸司, 山本逸雄, 福永仁夫: 骨密度定量法.

Modern Physician, 11: 183-186, 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: Comparison of Ultrasonic Velocity and Attenuation in the OS Calcis to Photon Absorptiometry Measurements in the Radius, Femur, and Lumbar Spine. Clin Phys Physiol Meas 10: 353-360, 1989
- 5) Cameron JR, Sorenson JA: Measurement of bone mineral in vivo: An improved method. Sciene 142: 230-236, 1963
- 6) Carter DR, Haves W: The compressive behavior of bone as a two phase porous structure. J. Bone Joint Surg 59-A: 954-962, 1977
- 7) 福永仁夫, 友光達志, 森田陸司: DEXA 法, 臨放, 35: 41-48, 1990
- 8) 森田陸司: 骨塩定量法の世界の現状, 骨ミネラル測定と骨粗鬆症 森田陸司 編, メジカルビュー社, 大阪 東京, p 15-20, 1989
- 9) 游 逸明, 山本逸雄, 森田陸司, 他: 腰椎骨塩量測定と脊椎骨折閾値, 日本医学会誌, 52: 217-222, 1992
- 10) 鈴木聰, 奥村秀雄, 山本逸雄: QCT 法, 臨放, 35: 49-56, 1990