

# 閉経期女性の骨密度測定法の差異による 骨量評価についての研究

## —DXA法と超音波法の比較—

鈴木 隆雄\* 楠本 彩乃\*,3\* 永井 晴美\*  
吉田 英世\* 渡辺修一郎<sup>2\*</sup> 熊谷 修<sup>2\*</sup>  
天野 秀紀<sup>2\*</sup> 柴田 博<sup>2\*</sup>

健康な閉経期女性に対し、二重エネルギー X 線吸収法 (DXA 法) による骨密度の測定と超音波 (US) 法による踵骨部分の骨強度を測定した。さらに、年齢や体格、握力、閉経状況などの調査や足部の計測も行い、これらと DXA 法と US 法という 2 つの異なった骨量評価の方法による測定値との関係にどのような差異が認められるかを分析した。

分析対象者は東京都多摩地区および小金井市に居住する 44 歳～65 歳 (平均 55.3 歳) の健康女性 170 人である。DXA 法では第 2～第 4 腰椎前後方向 (AP)、大腿骨近位部 3 カ所の合計 4 カ所の骨密度 (BMD) を測定し、US 法では踵骨部分を測定し伝導速度 (SOS) と減衰係数 (BUA) の 2 つの測定値を得た。

1. 閉経期における DXA 法および US 法と年齢との関連をみると、年齢との相関係数では SOS を除いて、すべての測定値で有意な関連を示した。

2. 閉経状況 (未閉経群, 閉経後 0-6 年未満群および閉経後 6 年以上群の 3 群) に関しては、DXA 法のすべての BMD と US 法の BUA では 3 群間での測定値に有意な差を認められたが、SOS では有意差は認められなかった。

3. 年齢および身体計測値と骨量評価法との関連では、やはり SOS を除き、すべての測定値で年齢とは負の、体重とは正の有意な相関を示していた。また握力についてはいずれの測定値とも正の強い相関を示していた。足部計測値との関連では、特に US 法の BUA が多数の足部計測値と強い有意な相関を示していた。

4. DXA 法と US 法の測定値相互の関連については、全測定値間で正の強い相関をしていたが、特に SOS を除くすべての組み合わせでは、有意水準 0.1% レベル以下での有意な相関を示していた。

5. 各測定値を従属変数とし、年齢やおもな身体計測値を独立変数とした時の重回帰分析では、SOS を除くすべての測定値で年齢が負の有意な関連を示した。また多くの測定値では、体重または BMI が正の有意な関連を示していた。BUA では足面積が正の有意な関連として残った。各測定値に対するこれら有意な因子の組み合わせをみると、DXA 法と US 法 (特に SOS) ではかなり異なった組み合わせが得られた。

以上の結果は、現在広く利用され X 線被曝がないなどの利点も多いと考えられる US 法は、必ずしも DXA 法で評価する骨量およびその変動とは同一の評価をしているとは考えづらく、現時点では骨量測定への利用、特に危険因子の解析には慎重な対応が必要と考えられた。

**Key words:** 骨密度測定, DXA 法, 超音波法, 閉経期女性, 骨量評価, 集団検診

## I 緒 言

現在我が国では骨粗鬆症による骨折予防の観点から、中高年女性をおもな対象として、集団検診

方式による骨密度測定が盛んになってきている。しかしこのような骨密度検診においては、どの測定法によって骨密度を測定するかは統一された見解がなく、実施主体ごとにまちまちであり、そのために測定された骨密度について相互に比較・検討することが必ずしも容易ではないのが現状である。

骨密度測定法には、現在我が国でよく用いられる方式として、マイクロデンシトメトリー法

\* 東京都老人総合研究所 疫学部門

<sup>2\*</sup> 東京都老人総合研究所 地域保健部門

<sup>3\*</sup> (株)シンエイ 商品部研究室

連絡先: 〒173 東京都板橋区柴町35番2号  
東京都老人総合研究所疫学部門 鈴木隆雄

(MD法) (およびその改良型として, CXD法やDIP法), 単エネルギーX線吸収法(SXA法), 二重エネルギーX線吸収法(DXA法), 超音波法(Ultrasound method: US法)などがあげられる。このなかでDXA法(Dual energy x-ray absorptiometry)はその精度や汎用性において高い評価を得ており, 厚生省長寿科学研究班による骨粗鬆症診断基準にもその測定値による判定基準が盛り込まれるなど, 骨密度測定法のなかで最も基準的な位置を占めている<sup>1)</sup>。

一方, US法は, 唯一X線被曝のない骨量測定法として, ここ2-3年で急速にその活用が期待されている<sup>2,3)</sup>。しかしUS法ではX線を用いる他の骨密度測定法とは異なり, 超音波の特性を利用した, いわば骨強度(bone stiffness)を測定しており, 厳密な意味では骨密度(bone mineral density: BMD)とは異なった骨の性質を測定していることになる。DXA法とUS法での相関を始めとする両者の関係についての研究はいくつかみられるが, その評価はさまざまである<sup>4-8)</sup>。

今回, 我々は地域在住の健康な中高年女性を対象として, DXA法およびUS法による腰椎と大腿骨近位部の骨密度, および踵骨の骨強度を測定し, 骨量の変動に大きな影響をおよぼすとされている年齢, あるいは体格などの身体属性, さらに閉経の状況との関連において分析を行い, これらの測定法の異なりが骨量の変動の分析に対してどのような意味をもつのかを検討した。尚, 本研究では, 現在のUS法は踵骨部分での測定が主体であり, 踵骨のみならず軟部組織を含む足部形態全体との関連も考慮に入れる必要があると考えられ, 一般的な身体計測に加えて足部形態についても計測を行い, 特にUS法への影響の有無についても検討した。

その結果, DXA法とUS法の各々の測定値は異なった要因の組み合わせに影響を受けることが示唆され, 骨量の変動に関して同一の指標として用いることは必ずしも適当ではないと考えられたのでここに報告するものである。

## II 対象と方法

対象は東京都多摩地区および小金井市に在住する健康な中高年婦人170人で, 平均年齢は55.3歳(44~65歳)である。人数の内訳は44~49歳32人,

50~54歳46人, 55~59歳46人, 60~65歳46人である。いずれも特に問題となる骨格系病変を有さない方々で, 多摩保健所および小金井市の骨密度検診の呼びかけに応じた方々である。

### 1. 身体計測

身長, 体重およびウエストとヒップの周囲長を測定した。ウエストは腰部(最小寛上)の最も細い部位を一周, ヒップは臀部の最突出部を一周する測定値とした。これら周囲長はテープメジャーで同一人(K. A.)が測定した。

体格示数はBMIを算出した[BMI=体重(kg)/身長(m)<sup>2</sup>]。またウエストとヒップの周囲長からウエスト/ヒップ比(WHR)を算出した。

握力はスミドレー式握力計により利き腕での握力(kg)を測定した。

足部形態についての計測は, 日本皮革産業連合会(1988)<sup>9)</sup>の方法に準拠する項目であり, それらの中から12項目を直接計測あるいは足型外郭投影図を用いて測定した。足部計測は十分に熟練した同一人(K. A.)により左側で測定された<sup>10,11)</sup>。測定項目は以下の通りである。

- 1) 足長, 2) 足幅, 3) 踵幅, 4) 足長第5趾, 5) 内側角度, 6) 外側角度, 7) 第1趾側角度, 8) 第5趾側角度, 9) 面積, 10) 内側面積, 11) 偏平率, 12) 足囲

### 2. 聞き取り調査

聞き取り調査では, 年齢および閉経年齢について調査した。閉経の状況については, 1年以上月経のない場合を閉経と定義した。さらに分析を行う際には, 月経のある者を未閉経群とし, 月経のない者を閉経群としたが, 閉経の群はさらに閉経後6年未満の群と6年以上の群に分け, 全部で3群に分けて分析を行った。

### 3. 骨量の測定

骨密度あるいは骨強度測定については, 骨密度はDXA法(Hologic社製:QDR-1000/W)により, 腰椎(第2-4腰椎前後方向:AP)および左側大腿骨近位部3カ所(大腿骨頸部:NK, 大転子部:TR, ワード氏三角部:WD)を測定した。ここで用いたDXA装置の測定精度に関する報告は先に筆者らによってなされている<sup>12)</sup>。またUS法による骨強度の測定はMcCue社製Contact Ultrasonic Bone Analyzer(CUBA clinical)を用い, 左側踵骨部を測定した。本装置は超音波の発

信ならびに受信をおこなう2個のトランスデューサーで踵骨内外の両側をはさみ込み、測定部位にエコーゲルを塗布することで超音波整合性を高める方式であり、水を使用しない乾式タイプである。得られる測定値として他の超音波測定装置同様、(1)超音波伝播速度 (Speed of Sound: SOS) および(2)超音波減衰係数 (Broadband Ultrasound Attenuation: BUA) の2つである。本装置の基礎的性能に関する研究は林・漆原 (1993)<sup>7)</sup>による報告がある。今回の調査にあたり、CUBA clinical の測定精度に関しては、1人の健常女性を毎日1回10日間測定し変動係数 (%CV) を指標とする日差再現性より評価しており、SOS については2.990, BUA については2.112であることが判っている。各被検者に対する骨量測定は、いずれも同一日に実施された。測定時間はUS法では2~3分、DXA法の腰椎で4~5分、大腿骨近位部で6~8分である。US法およびDXA法のAPについては170人全員測定可能であったが、DXA法大腿骨近位部については検診での時間的制限があり、74%にあたる125人について実施可能であった。

統計的手法については、2群間の平均値の差の検定にはt検定を用い、3群間の平均値の差の検定には一元配置の分散分析法を用いた。項目間の相関関係には Pearson の積率相関係数を用い、さらに各骨密度あるいは骨強度の測定値を従属変数

とし、年齢や身体属性あるいは身体計測値を独立変数として重回帰分析 (ステップワイズ逐次変数選択法) を行った。

### Ⅲ 結 果

今回の研究における対象者の年齢や主たる身体属性値、DXA法による骨密度 (BMD) およびUS法によるSOSとBUAの各々の平均値、標準偏差、最小値ならびに最大値を表1に示す。

#### 1. DXA 値および US 値と年齢との関連

各年齢毎のDXA法およびUS法の測定値を図1に示す。いずれも年齢とは負の相関係数を示していた (AP: -0.493, TR: -0.451, NK: -0.486, WD: -0.563, SOS: -0.155, BUA: -0.390)。これらの年齢との相関係数はSOSを除きいずれも有意な相関を示していたが、特にDXA法による測定値の方が、より強い負の相関係数を示していた。

#### 2. 閉経状況による身体計測値、骨密度および超音波測定値

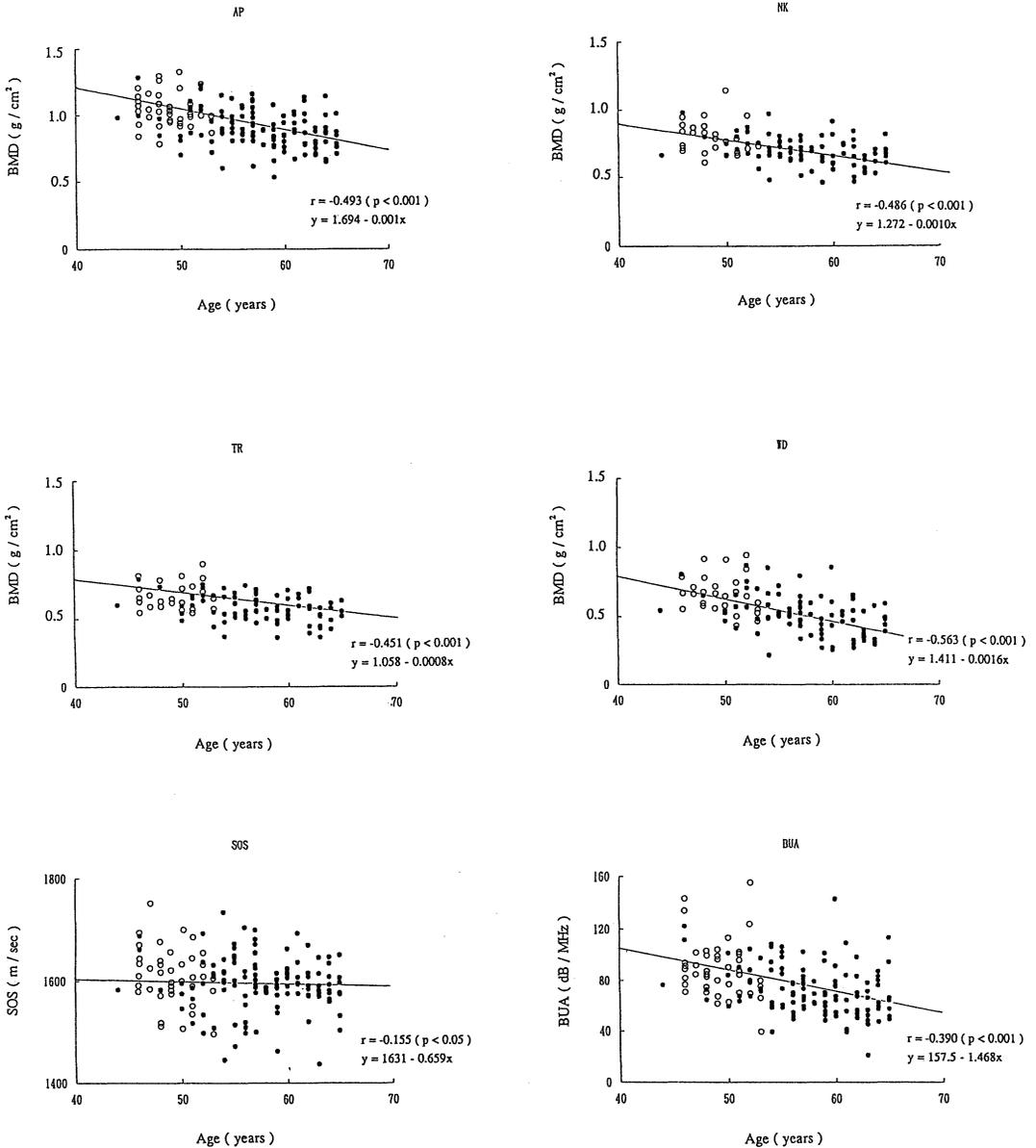
閉経の状況によって被検者を3群に分けているが、それらと足部計測値を含む身体計測値や握力、さらにはDXA法による4カ所の骨密度値および2つの超音波測定値に有意差があるか否かを検討した。結果は表2に示す通りである。閉経状況に関する3群間で有意差の認められた項目は、年齢、すべての骨密度測定値および超音波測定値

Tab. 1 Bone mineral measurements and other physical variables

	N	Mean	SD	Min.	Max.
Age (years)	170	55.27	5.67	44	65
Age at menopause <sup>1)</sup>	113	48.69	5.13	29	56
Years after menopause <sup>1)</sup>	113	9.27	6.27	1	34
Body height (cm)	170	154.20	5.10	141.0	169.8
Body weight (kg)	170	51.99	7.45	32.5	77.0
BMI (kg/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup> )	170	218.71	29.93	146	322
WHR (cm/cm × 10 <sup>2</sup> ) <sup>2)</sup>	137	79.47	5.07	69.3	91.9
Grip strength (kg) <sup>3)</sup>	165	28.23	5.32	11.0	43.0
AP-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	169	0.934	0.152	0.530	1.330
NK-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	125	0.715	0.116	0.458	1.124
TR-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	125	0.605	0.102	0.363	0.898
WD-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	125	0.551	0.154	0.215	0.948
SOS (m/sec)	170	1595.9	54.7	1436	1750
BUA (dB/MHz)	170	75.8	20.1	21.0	154.0

<sup>1)</sup> excluding premenopausal women <sup>2)</sup> waist hip ratio <sup>3)</sup> measured on the stronger hand

**Fig. 1** Bone mineral density (BMD) of the lumbar spine (AP), femoral neck (NK), trochanteric area (TR), and Ward's triangle (WD) measured by DXA, and speed of ultrasound (SOS) and broadband ultrasound attenuation (BUA) measured by US in the normal female aged 44–65 years. Data are showing individual values of both premenopausal (○) and postmenopausal (●) women.



のうち BUA のみであった。足部計測値を含むすべての身体測定に関する項目はいずれも有意差を示さなかった。

**3. 主たる身体測定値と骨密度測定値および超音波測定値間での相関について**  
 足部計測値を含む身体測定値、年齢および骨密

度測定値 (4 カ所) と超音波測定値 (2 つ) 間での Pearson の積率相関係数を表 3 に示す。

特に骨密度 (強度) 測定値についてみると、SOS を除いてすべて年齢とは負の、体重とは正の有意な相関を示していた。また握力についてはいずれの測定値ともすべて強い正の相関を示して

Tab. 2 Physical variables and bone measurements by menopausal status

	Pre-mps <sup>1)</sup>			Post-mps(<6 yrs) <sup>1)</sup>			Post-mps(≥6 yrs) <sup>1)</sup>			Significance <sup>2)</sup>
	N	Means	SD	N	Means	SD	N	Means	SD	
Age(years)	45	49.133	2.211	39	53.615	3.313	76	59.894	3.897	***
Age at mps <sup>1)</sup>	0			39	50.564	3.033	76	47.881	5.633	**
Years after mps <sup>1)</sup>	0			39	3.051	1.375	76	12.013	5.746	**
Body height(cm)	45	155.013	4.804	39	154.889	5.389	76	153.468	5.263	
Body weight(kg)	45	52.133	6.592	39	51.307	7.726	76	51.697	7.442	
BMI(kg/cm <sup>2</sup> ×10 <sup>5</sup> )	45	21.707	2.638	39	21.366	2.840	76	21.959	3.045	
Waist hip ratio	38	78.440	4.598	29	78.482	4.711	65	80.532	5.270	
Grip strength(kg)	45	301.777	37.312	39	294.358	60.362	76	265.263	53.571	
AP-BMD(g/cm <sup>2</sup> )	45	1.041	0.126	39	0.949	0.129	75	0.871	0.147	***
NK-BMD(g/cm <sup>2</sup> )	33	0.791	0.108	31	0.720	0.097	54	0.662	0.107	***
TR-BMD(g/cm <sup>2</sup> )	33	0.668	0.090	31	0.615	0.095	54	0.559	0.092	***
WD-BMD(g/cm <sup>2</sup> )	33	0.663	0.126	31	0.567	0.131	54	0.468	0.141	***
SOS(m/sec)	45	1610.533	55.034	39	1597.615	62.909	76	1589.907	48.399	
BUA(dB/MHz)	45	86.511	21.977	39	77.179	17.751	76	69.907	20.178	***
Foot length(mm)	45	224.355	8.712	39	224.487	8.559	76	224.144	8.960	
Foot breadth(mm)	45	94.800	3.928	39	95.641	4.809	76	96.381	5.132	
Foot girth(mm)	45	228.933	9.463	39	230.794	10.933	76	231.526	11.394	
Heel breadth(mm)	45	59.937	3.391	39	60.102	2.741	76	59.667	3.110	
Foot length at 5th toe(mm)	45	186.633	7.891	39	186.933	7.795	76	186.617	8.077	
Medial angle(degree)	45	5.991	1.663	39	5.902	1.423	76	6.464	2.008	
Lateral angle(degree)	45	9.135	1.733	39	9.484	1.987	76	9.518	1.738	
Toe 1 angle(degree)	45	13.477	6.120	39	12.494	7.134	76	15.011	8.203	
Toe 5 angle(degree)	45	11.413	4.614	39	11.274	4.452	76	10.584	5.560	
Area(cm <sup>2</sup> )	45	154.824	11.418	39	156.402	11.516	76	156.553	12.125	
Medial area(cm <sup>2</sup> )	45	3.013	1.496	39	2.807	1.544	76	2.976	1.415	
Flatness index	45	37.420	1.744	39	37.579	1.987	76	37.806	2.013	

Note: <sup>1)</sup> mps: menopause, <sup>2)</sup> \*\*: p<0.01, \*\*\* : p<0.001

いた。しかし WHR とはいずれの測定値もなら有意な相関を示さなかった。

足部計測値と骨密度(強度)値との関連では足長、足幅、足囲、踵幅、面積などと測定値との間に有意な関連が示されていた。特に US 法測定値のうち BUA は足部計測の多数の項目と強い有意な相関を示していた。

骨量測定値間の関連については全測定値相互で正の強い相関を示し、特に SOS を除くすべての組み合わせで有意水準0.1パーセントのレベルで有意な相関が認められた。

#### 4. 各骨密度(骨強度)測定値を従属変数とした時の重回帰分析について

各骨密度(強度)測定値を従属変数とし、年齢、身長、体重、BMI、WHR、握力、閉経後年数、

足長、足幅、足囲、踵幅、足面積の12項目を独立変数として、ステップワイズ逐次変数選択法により、重回帰分析を行った。その結果、5%レベルの有意水準で有意だった変数は表4に示される通りである。SOS を除くいずれの測定値に対しても年齢が有意な負の関連を示し、AP、NK、WD、BUA に対しては体重または BMI が正の有意な関連を示していた。また、BUA では足面積が正の有意な関連を示していた。踵幅は TR に対しては正の有意な関連を示したが、SOS では負の有意な関連を示していた。SOS ではこの他に閉経後年数や握力など、他の骨量測定値にはみられない項目で有意な関連を示していた。

さらに各分析における決定係数(R<sup>2</sup>)では、DXA 法での各測定値は WD での0.40を最高とし

ていずれも0.30以上を示すが、US法ではBUAは0.26、さらにSOSでは0.16と極めて小さいことも明らかとなった。

#### Ⅳ 考 察

本研究の目的は、先に述べたように、DXA法とUS法という異なった2つの骨密度(強度)測定法による骨量評価と、それに影響を及ぼすさまざまな身体状況との関連に、どの程度の差異が認められるかを明確にすることである。

最近、X線被曝のまったくないUS法は、その安全性と簡便性のみが注目され、US法を骨粗鬆症の診断や検診に応用しようとする試みが急激に増加している。しかし、山崎ら<sup>13)</sup>も指摘するように、US法の原理が物理的には確立していても骨量評価の場合には得られた計測値の意義が十分に解明されてはならず、骨粗鬆症診断におけるUS法の有用性は早急に検討すべき課題である。また、骨量減少についての危険因子の解析にあっても、我々は先に異なった3つの骨量評価法(CXD法、US法、DXA法)を用いて同一健常女性28人を分析した結果、必ずしも同一の因子が抽出されないことを明かにしており<sup>14)</sup>、今後のUS法を用いた骨量評価についてはその有効性と限界を充分に理解しておく必要があると考えられる。

##### 1. 踵骨超音波骨計測法について

近年DXA法をはじめとする各種骨量評価法が急速に開発されているなかで、欧米を中心に超音波による踵骨骨質測定装置が用いられ始めた<sup>15,16)</sup>。我が国では現在、Lunar社製Ultrasound Bone Densitometer (Achilles)のみが認可を受け広く利用されている。AchillesではUS法の基本となる2つの測定指標(パラメーター)として超音波伝播速度(Speed of Sound: SOS)と超音波減衰係数(Broadband Ultrasound Attenuation: BUA)が用いられる他に、この装置を発売している業者によりSOSとBUAの測定値から求められる、Stiffnessと呼ばれる数学的な指標も算出される。しかしこのStiffnessの算出根拠は公開されているもののその物理学的意味は不明であって、研究論文等では必ずしも用いられないことも多い<sup>17~20)</sup>。また金木ら<sup>6)</sup>も指摘するようにStiffness値はSOS、BUAより算出するため、変動係数(CV%)

が大きくなることから、骨量評価の経過観察はSOS、BUAにて行う方が有利であろうとの考えもある。

今回用いた踵骨超音波測定装置は、McCue社製Contact Ultrasonic Bone Analyzer (CUBA clinical)である。このCUBA clinicalでの測定指標はSOSとBUAの2つであり、我が国でもすでに本装置における骨量評価についての基礎的研究報告もなされている<sup>7)</sup>。本装置の利点としては測定時に水を使用しない乾式であり、1回の検査所用時間が1~2分程度と短時間であることなどである。しかし、その詳細な性能やDXA法との比較による有効性などについては十分なデータの蓄積もなく、骨量評価のスクリーニングに対する本装置の有用性は、今後のより一層のデータの蓄積と厳密な分析によらなければならないことがまず第一にあげられることは確かである。

##### 2. DXA法およびUS法測定値と身体についての諸要因との分析について

###### 1) 年齢との関連

一般に骨量は加齢とともに減少する。したがって今回用いたDXA法であれUS法であれ、このような両者の基本的な関係が示されなければならない。DXA法と年齢との相関では、いずれの測定値も有意な負の相関を示している[WDでの $r = -0.56$ からTRの $r = -0.44$ (いずれも $p < 0.0001$ )]。しかしUS法では、BUAは負の有意な相関( $r = -0.38$ )を示したものの、SOS( $r = -0.12$ )では有意な相関を示していなかった。

US法における年齢との関連について、我が国のこれまでの報告では、21~79歳の健常女性842例を対象とした山崎らの報告<sup>21)</sup>では、SOS( $r = -0.65$ )よりBUA( $r = -0.73$ )の方が良好であったが、DXA法( $r = -0.72 \sim -0.74$ )の方がより高い結果であったと報告している。一方20~84歳までの女性216例についての武田ら<sup>22)</sup>の報告ではBUA( $r = -0.47$ )よりもSOS( $r = -0.63$ )の方が良好であったとし、さらにこの値はDXA法による腰椎( $r = -0.55$ )あるいは大腿骨近位部( $r = -0.60$ )での測定値との相関とほぼ同等であったとしている。また今回の我々同様CUBA clinicalを用いた研究から、林・漆原<sup>7)</sup>は、20~87歳の女性の43例の測定からSOS( $r = -0.655$ )およびBUA( $r = -0.557$ )でいずれも

Tab. 3 Correlation matrix of major physical

Age							
Amps	0.159						
Ymps	0.621***	-0.675***					
HT	-0.238**	-0.029	-0.176				
WT	0.007	-0.067	0.062	0.0327***			
BMI	0.126	-0.045	0.154	-0.153*	0.881***		
WHR	0.241**	-0.148	0.300**	-0.129	0.540***	0.617***	
Grp	-0.317***	-0.088	-0.140	0.432***	0.366***	0.167*	0.001
AP	-0.476***	-0.048	-0.227*	0.320***	0.236**	0.088	-0.061
NK	-0.481***	-0.006	-0.274*	0.306***	0.359***	0.248**	-0.007
TR	-0.440***	0.045	-0.291**	0.209**	0.283**	0.214*	-0.066
WD	-0.563***	0.021	-0.338**	0.211**	0.234**	0.157	-0.081
SOS	-0.117	0.012	-0.058	0.154*	0.103	0.036	-0.146
BUA	-0.383**	-0.074	-0.155	0.361***	0.295***	0.129	0.047
FL	-0.036	0.063	-0.102	0.735***	0.326***	-0.016	-0.051
FB	0.090	0.055	-0.019	0.260**	0.413***	0.301***	0.256**
FG	0.081	0.106	-0.079	0.326***	0.486***	0.349***	0.278**
HB	-0.039	0.116	-0.179	0.328***	0.418***	0.274**	0.217*
F5	-0.035	0.050	-0.086	0.702***	0.258**	-0.069	-0.059
MA	0.063	-0.154	0.169	-0.112	0.014	0.070	0.010
LA	0.066	0.129	-0.062	-0.059	0.072	0.100	0.147
TIA	0.067	-0.090	0.125	-0.082	0.041	0.075	0.052
T5A	-0.081	0.234*	-0.212*	0.011	0.058	0.053	-0.002
AR	0.024	0.079	-0.081	0.587***	0.495***	0.233**	0.177*
MAR	0.083	0.030	0.129	0.201**	0.176*	0.084	0.038
FLI	0.072	-0.023	0.076	-0.340***	0.247**	0.424***	0.410***
	Age	Amps	Ymps	HT	WT	BMI	WHR

Physical variables represented by abbreviation are in the same order of Table 2, \* : p<0.05, \*\* : p<0.01,

Tab. 4 Multiple regression analysis by stepwise model for each bone measurements

(Significant level at 0.05)

Dependent variables	Independent var. with significant level at p<0.05	Regression coefficient (B)	Standard error	R <sup>2</sup> (ΣR <sup>2</sup> )	Probability
AP-BMD	Age	-13.847	1.863	0.292	p<0.0001
	Weight	4.648	1.448	0.053(0.345)	p<0.0017
NK-BMD	Age	-10.613	1.833	0.277	p<0.0001
	Weight	4.943	1.398	0.091(0.368)	p<0.0007
TR-BMD	Age	-8.162	1.608	0.240	p<0.0001
	Heel breadth	7.500	2.833	0.057(0.297)	p<0.0096
WD-BMD	Age	-17.387	2.400	0.371	p<0.0001
	BMI	10.390	4.909	0.031(0.402)	p<0.0372
SOS	Years aft mps	-1.540	0.481	0.093	p<0.0017
	Grip strength	0.182	0.067	0.036	p<0.0070
	Heel breadth	-2.012	1.014	0.026(0.155)	p<0.0493
BUA	Age	-1.345	0.282	0.135	p<0.0004
	Weight	0.620	0.250	0.095	p<0.0233
	Area	0.344	0.157	0.028(0.258)	p<0.0493

variables and bone measurements

0.379***						
0.400***	0.761***					
0.370***	0.771***	0.843***				
0.368***	0.746***	0.892***	0.835***			
0.428***	0.364***	0.245**	0.267**	0.253**		
0.388***	0.485***	0.562***	0.511***	0.544***	0.382***	
0.360***	0.198**	0.182*	0.157	0.091	0.146	0.270*
0.240**	0.120	0.124	0.160	0.054	0.062	0.193*
0.271**	0.153*	0.114	0.175	0.037	0.077	0.229**
0.251**	0.095	0.295***	0.256***	0.230**	0.020	0.245**
0.351***	0.168*	0.167	0.102	0.061	0.176*	0.248**
-0.098	-0.003	-0.047	-0.038	-0.127	-0.073	-0.031
0.122	0.063	-0.062	0.026	0.021	0.108	0.019
-0.061	-0.065	-0.067	-0.098	-0.142	-0.056	-0.056
0.087	0.090	0.065	0.083	0.109	-0.031	-0.042
0.384***	0.187*	0.251**	0.231**	0.146	0.124	0.305***
0.039	-0.051	0.021	-0.031	-0.066	-0.026	-0.004
0.007	-0.037	0.012	0.061	0.026	-0.057	0.020
Grp	AP	NK	TR	WD	SOS	BUA

\*\*\* : p<0.001

有意な負の相関を示していたと報告している。今回の我々の研究で SOS が年齢との間に有意な相関を示さなかった正確な理由は不明であるが、対象年齢が他の研究に比べて 44 歳～65 歳と狭い範囲に限られていたことも一因と考えられる。しかし、このような閉経期の限られた年齢範囲の女性集団についても、SOS を除く他のすべての測定値は年齢と有意な負の相関を示しており、SOS のみ有意な相関のみられなかったことは、その測定値の信頼性は著しく低いと考えざるを得ない。

2) 閉経状況と DXA 法および US 法測定値の関連について

閉経の状況は、年齢あるいは体格などとともに、女性における骨量減少に非常に大きな影響をもたらすことは広く知られている。本研究においても未閉経群、閉経後 0-6 年群および閉経後 6 年

以上群の 3 群に分けた閉経状況と DXA 法および US 法の測定値との間における関連を分析した。その結果、DXA 法のすべての測定部位 (AP, NK, TR, WD) と US 法の BUA についてはこれら 3 群間に有意な差を認め、閉経後年数の増加に伴い、骨量の減少をかなりよく判別することが可能であると考えられた。一方、SOS についてはこの 3 群間に有意差を認めず、先の年齢との相関も合わせて考えると、少なくとも今回の研究では、SOS の判別能力に疑問を抱かざるを得ない結果となっている。

閉経の DXA 法測定値に及ぼす影響は明らかで、多くの研究で未閉経群と閉経群の間での測定値の有意な差異が報告されている<sup>14,23)</sup>。一方、US 法における閉経状況との関連については、我が国の諸家の報告では、川名ら<sup>24)</sup>は閉経後年数と

の相関について、SOS ( $r=0.37$ ;  $p<0.01$ ) は有意、BUA ( $r=0.14$ ; NS) は有意差なしと報告しており、今回の研究とは逆の結果を得ている。また中村ら<sup>25)</sup>は閉経前女性 ( $n=33$ ) と閉経後女性 ( $n=30$ ) について、閉経前女性ではSOS, BUA 共々年齢とは有意な相関を示さず、閉経後女性においてはSOS, BUA とも50歳代から70歳代にかけて有意な低下が認められたと報告し、特にBUAでは50歳代から70歳代、60歳代から70歳代でいずれも有意に低下しており、SOSよりもよく年齢間の差を表しているとの結論を得ている。

### 3) 主たる身体計測値(足部計測を除く)との関連について

本研究ではDXA法およびUS法の測定値と身長、体重、BMI、WHR、握力などの主要な身体計測値との間での関連についても(Pearsonの積率相関係数による)分析を行っている。その結果、身長および握力はすべての(骨量の)測定値と有意な正の相関を示し、なかでも握力はすべて有意水準0.1%で有意であった。また体重はSOSを除くすべての測定値で正の相関を示したがBMIに対してはNKとTRのみ正の関連を示した。またWHRにはすべての測定値で有意な関連を示さなかった。

これまでの我が国のUS法による同様の研究からは、身長および体重についてはSOS, BUAとも0.3~0.4程度の有意な正の相関を示す報告が多く<sup>17,20)</sup>、特にSOSよりもBUAとに有意な関連が認められるようである。中村ら<sup>25)</sup>も閉経前女性ではBUAのみが体重とBMIに正の相関を認め、また閉経後女性にあってもBUAは身長、体重、BMIのすべてと1%レベルの有意水準で正の相関を認めた一方、SOSでは身長、BMIで有意な関連を認められなかったことを報告している。これらの我が国での諸家の報告では報告者や測定した項目間で多数のバラツキのあるものの、骨量測定値と身体計測値ではSOSよりもむしろBUAの方が、より良く関連を示す傾向にあるといえよう。

### 4) 足部計測値とDXA法およびUS法との関連について

先に述べたようにUS法はDXA法と異なり、必ずしも骨量あるいは骨密度のみを正確に反映している訳ではなく、いわば踵部における骨強度と

よばれる物理的性質を表していると考えられている。我々はこのような踵部での骨強度に対し、踵部の軟部組織も含めた足部形状全体もまたUS法における測定値に何らかの影響のある可能性を想定し、これを分析した。

足部形態を表す計測項目は、日本皮革産業連合会<sup>9)</sup>により定義された計測項目を用いている。この計測項目は足部計測に関しては最も基本的な方法の1つであり<sup>10,11,26,27)</sup>、本研究でも用いた次第である。DXA法あるいはUS法で有意な関連(いずれも正の相関)を示したものは足長(AP, NK, およびBUA)、足長第5趾(AP, SOS, BUA)、足幅(BUAのみ)、足囲(APとBUA)、踵幅(NK, TR, WDおよびBUA)、足面積(AP, NK, TRおよびBUA)であった。ここで注目すべきはいずれの項目にもBUAが正の相関を示していることであり、US法(特に今回はBUA)では足部形態自体(特に足のサイズ)も何らかの影響を与えている可能性が十分考えられる。

### 3. DXA法測定値とUS法測定値の比較

#### —特にUS法の骨量評価の妥当性について—

DXA法およびUS法測定値の相互間の相関係数は最も強い相関を示すNKとWD( $r=0.892$ )から最も弱いNKとSOS( $r=0.245$ )まで変異していた。総じていえることはDXA法による測定値同士の組み合わせ、特に大腿骨近位部3ヶ所での組み合わせはいずれも強い相関( $r=0.746$ 以上)を示しているのに対し、US法のSOSを含む組み合わせはいずれも低い値( $r=0.245$ ~ $r=0.382$ )を示していることである。これまでの我が国での同様の研究<sup>4,5,7,28)</sup>からみると、APとBUA(本研究では $r=0.485$ )では0.39~0.52を示し、APとSOS(本研究では $r=0.364$ )では0.17~0.73となっている。APとBUAは比較的安定した相関を示すのに対し、APとSOSの相関はかなりバラツキがあることが明かであり、注意すべき点であろう。

DXA法の4つの測定値およびUS法の2つの測定値の各々を従属変数とし、年齢、身長、体重、BMI、握力、閉経後年数および足部計測値など12項目を独立変数とする重回帰分析においては、SOSを除くいずれの測定値に対しても年齢が負の有意な関連を示すとともに、多くの測定値に対し体重あるいはBMIが正の有意な関連を示して

おり、これまでの多くの先行研究（特に DXA 法を用いた研究）<sup>29~31)</sup>と矛盾のない結果が示されている。しかし DXA 法と US 法ではその各々の測定値に対して独立に有意に関連する要因の組み合わせは必ずしも同じような結果にはならず、DXA 法の各測定値がほぼ似通った組み合わせを示すのに対し、US 法の BUA や SOS は、DXA 法とは異なった要因の組み合わせに影響されると推定された。特に BUA には足の面積が含まれ、SOS では踵幅が負の独立した要因となることや、両者における決定係数の低さなど、DXA 法とは明かに異なったものとなっている。このことは、骨密度変動の要因の分析においては、骨量の測定法の異なりによって、異なった要因（またはその組み合わせ）が抽出されることを示唆し、現在大きな問題となっている骨粗鬆症の危険因子（Risk factor）の解析にあたっては、かなりの不都合を生ずるといわざるを得ないと結論される。なかでも今回用いた機種では、さまざまな項目において SOS の分析能は低く、また SOS に対する（多変量解析での）有意な要因も他の測定値とはかなり異なった組み合わせが抽出され、その解釈にあたっては十分な注意が必要と考えられた。このような US 法での特性は、単に今回用いた乾式の機種（CUBA clinical）のみにみられるものか、あるいは超音波による踵骨での測定装置の普遍的な特性なのかは、今後より一層のデータの集積と詳細な分析を待たねばならないが、現時点では慎重な取り扱いが必要と考えられた。

最近さまざまに取り組みられるようになってきた骨密度検診あるいは骨粗鬆症検診において、検査時間が比較的短く、X 線被曝に関しては無侵襲であり、集団検診などの場において放射線管理区域を設ける必要性がなく、簡便に行いうる超音波法は骨量スクリーニング法に適していないこともない。特に高齢者では腰椎に著しい変形性脊椎症を有する者が多いことから、DXA 法による AP 測定は不向きであり<sup>32)</sup>、さらに腰背部痛のために DXA 法による仰臥位での測定の困難な方々でも、超音波法による踵骨測定は何ら問題なく測定することが可能な点などは注目すべきでもある。

しかし、今回の研究からも明らかのように、US 法は必ずしも DXA 法で評価する骨量およびその変動とは同一の評価をしているとは考え難

く、特に(1)足部の形態が US 法、特に BUA 測定値に少なからぬ影響を与えていると推定されること、(2)US 法のうち、SOS は他の指標に比べて年齢との負の相関が低いことや、閉経状態別の骨量測定値間に有意差を見出し得ないこと、さらには骨量測定値間相互の関連についてもその有意水準が低いことなど、さまざまな点で分析能が劣っていること、(3)各測定値に有意に関連（影響）する因子の組み合わせは明らかに DXA 法とは異なったものであり、骨量減少に関する危険因子の解釈に（必ずしも DXA 法の評価とは一致しない点で）不都合をきたすことなど、現時点では超音波骨量測定法の利用には、十分な理解と慎重な対応が必要と考えられた。

本研究におきまして、骨密度検診の御協力を頂きました東京都小金井市役所および東京都多摩保健所の職員の皆様、さらに McCue 社製 CUBA clinical の借用をお願いできました松本医科機械に御礼を申し上げます。

(受付 1995. 6. 9)  
採用 1995.11.15)

## 文 献

- 1) 折茂 肇. 骨粗鬆症の予防に関する総合研究. 長寿科学総合研究平成4年度研究報告 1993; 3: 122-126.
- 2) 福永仁夫, 武田直人. 骨粗鬆症と超音波診断. 医学のあゆみ 1993; 165: 625-628.
- 3) 山崎 薫, 他. 超音波骨量測定装置 (Achilles Ultrasound Bone Densitometer) の使用経験—測定精度と有効性の検討—. Ther Res 1992; 13: 585-593.
- 4) 游 逸明, 他. 超音波による踵骨測定の臨床的有用性についての検討. 日本骨代謝学会誌 1992; 10(3): 301.
- 5) 武田直人, 他. 低周波超音波骨量測定装置による踵骨の骨強度に関するパラメーターの測定—特に DXA による骨密度との比較について. Osteoporosis Japan 1993; 1: 62-66.
- 6) 金木正夫, 設楽 武, 白木正孝. 骨超音波伝導測定装置「Achilles」の基礎的および臨床的検討. 日本骨代謝学会誌 1992; 10(3): 298.
- 7) 林 雅俊, 漆原 彰. 超音波骨測定装置 Contact Ultrasonic Bone Analyzer による骨強度測定. 日本骨代謝学会誌 1993; 11(3): 388.
- 8) 山西佐智美, 他. 各種骨量評価法の比較と検討—SPA 法, DXA 法, 踵骨超音波測定法—. 第1回骨ドック・健診研究会抄録集 1995; 1: 37.
- 9) 日本皮革産業連合会. 足型研究開発事業報告書,

- 1988; 173-253.
- 10) Kusumoto A. Comparative foot dimensions in Filipino rural children and Tokyo children. *Ann Hum Biol* 1990; 17: 249-255.
  - 11) Kusumoto A, et al. A comparative study of foot morphology between Filipino and Japanese women. *Ann Hum Biol* 1996; (accepted).
  - 12) 鈴木隆雄, 柴田 博, 守木久和. DXA 法による骨密度集団検診での測定精度に関する研究. *日本公衛誌* 1994; 41: 997-1005.
  - 13) 山崎 薫, 他. 踵骨超音波測定法の骨粗鬆症診断への応用の可能性. *Osteoporosis Japan* 1994; 2: 135-137.
  - 14) 鈴木隆雄, 他. 異なった測定法における骨密度とその要因分析. *Osteoporosis Japan* 1995; 3: 111-113.
  - 15) Langton CM, Palmer SB, Porter RW. The measurement of broadband ultrasonic attenuation in cancellous bone. *Engin Med* 1984; 13: 89-91.
  - 16) Waud CE, Lew R, Baran DT. The relationship between ultrasound and densitometric measurements of bone mass at the calcaneus in women. *Calcif Tissue Int* 1992; 51: 415-418.
  - 17) 游 逸明, 他. 踵骨の骨塩量. 福永仁夫編. 骨粗鬆症と骨塩定量—DXA による骨塩定量—. 東京: メディカルレビュー社, 1993; 190-198.
  - 18) 今井弘子, 他. 超音波法および DXA 法による屍体踵骨の骨塩量の測定. *日本骨代謝学会誌* 1993; 11(3): 389.
  - 19) 林 公一, 津山重夫, 延谷寿三郎. 超音波骨量測定装置による骨粗鬆症検診の試み. *Osteoporosis Japan* 1994; 2: 146-148.
  - 20) 武田直人. 低周波超音波法による骨塩定量. 福永仁夫編. 骨粗鬆症と骨塩定量—DXA による骨塩定量—. 東京: メディカルレビュー社, 1993: 183-189.
  - 21) 山崎 薫, 他. Ultrasound Bone Densitometry は骨粗鬆症の診断へ応用できるか. *日本骨代謝学会誌* 1993; 11(3): 387.
  - 22) 武田直人, 他. 低周波超音波による踵骨の骨強度に関するパラメータの測定—男性例と女性例の比較について—. *日本骨代謝学会誌* 1993; 11(3): 390.
  - 23) Kin K, et al. Bone mineral density of the spine in normal Japanese subjects using dual-energy x-ray absorptiometry—Effect of obesity and menopausal status—. *Calcif Tissue Int.* 1991; 49: 101-106.
  - 24) 川名幸一, 他. 骨粗鬆症集団検診の試み—中手骨骨密度測定および超音波骨量測定を用いた検討—. *日本骨代謝学会誌* 1994; 12(3): 300.
  - 25) 中村美詠子, 他. 一地域における骨粗鬆症に関する疫学的研究—超音波骨密度測定装置を用いた検討—. *日本公衛誌* 1994; 41: 1152-1161.
  - 26) 河内まき子. 日本人の足型の個人差の分析. *人類学雑誌* 1989; 97: 373-388.
  - 27) 河内まき子, 山崎信寿. 足と靴型のアロメトリ—. *人類学雑誌* 1992; 100: 101-118.
  - 28) 富吉泰夫, 他. 超音波法による踵骨骨密度測定—高齢者における特徴—. *Osteoporosis Japan* 1994; 2: 161-163.
  - 29) Liel Y. et al. The effects of race and body habitues on bone mineral density of the radius, hip and spine in premenopausal women. *J Clin Endocrinol Metab* 1988; 66: 1247-1250.
  - 30) Rico H, et al. Age-and weight-related changes in total body bone mineral in men. *Miner Electolyte Metab*, 1992; 17: 321-323.
  - 31) Suzuki T, et al. Factors relating to the bone mineral density in the elderly living in the urban community. *J Epidemiol*, 1994; 4: 83-89.
  - 32) 鈴木隆雄, 他. 地域高齢者を対象とした骨密度集団検診における DXA 法の有用性と限界—腰椎 X 線所見との比較について—*日本公衛誌* 1995; 42: 385-397.

# COMPARISON OF BONE MINERAL LEVELS IN HEALTHY JAPANESE PERIMENOPAUSAL WOMEN MEASURED BY DUAL ENERGY X-RAY ABSORPTIOMETRY AND ULTRASOUND METHODS

Takao SUZUKI\*, Ayano KUSUMOTO\*,<sup>3\*</sup> Harumi NAGAI\*, Hideo YOSHIDA\*,  
Shuichiro WATANABE<sup>2\*</sup>, Shu KUMAGAI<sup>2\*</sup>, Hidenori AMANO<sup>2\*</sup>, Hiroshi SHIBATA<sup>2\*</sup>

**Key words:** Bone mineral measurements, DXA (Dual energy x-ray absorptiometry), Ultrasound bone densitometry, Perimenopausal women, Evaluation of bone minerals, Mass health examination

One hundred and seventy Japanese perimenopausal women, 44 to 65 years old (average 55.3), living in the Tokyo metropolitan area were evaluated for bone minerals by two methods of measurement—DXA (dual energy x-ray absorptiometry) measured at the 2nd–4th lumbar spine and three areas of proximal femur, and US (ultrasound bone densitometry) measured at the calcaneal area of the foot. Menopausal status was determined by interview, and anthropometric measurements, grip strength and various foot measurements including length, breadth, girth, area, and angles were taken. The relationship between these physical factors and bone minerals measured by DXA and US was considered in comparisons of evaluations of bone mineral condition by these two different methods.

The results were as follows:

- 1) The means of bone mineral density (BMD) at four sites by DXA and of broadband ultrasound attenuation (BUA) by US decreased with age significantly in a graded fashion. The mean of speed of sound (SOS) by US, however, did not show a significant decrease by age.
- 2) All measurements but one (SOS by US) showed significant differences among three groups of menopausal status (premenopause, <6 years after menopause, and  $\geq 6$  years after menopause) by ANOVA.
- 3) Concerning the relationship between physical variables and bone measurements, all measurements for bone mineral showed significant correlations with body weight (positive) and age (negative) except SOS by US. Grip strength had significantly positive correlations to all bone measurements. BUA by US showed strong correlations with several of the foot measurements.
- 4) Correlations between bone measurements by DXA and US, were all strong and positive particularly in the combinations within the measurement by DXA.
- 5) Multiple regression analysis of the physical variables to each bone measurement as the dependent variable, showed significant relationship of age (negative) and body weight or BMI (positive) to each bone measurements except for SOS. The foot area remained significant for BUA. The significant relationship of combinations of physical factors that persisted for US were somewhat different from those in DXA.

These results indicate that the level of accuracy of measurements of bone mineral by ultrasound may not necessarily be equivalent to that of dual energy x-ray absorptiometry measurements and must be utilized with caution especially in risk factor analysis of osteoporosis.

---

\* Dept. of Epidemiology, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology

<sup>2\*</sup> Dept. of Community Health, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology

<sup>3\*</sup> Laboratory Section, Shin-Ei Corporation