

超音波骨量測定装置 Benus の有用性の検討

建部貴弘, 高梨泰彦, 水谷好孝, 三浦隆行

A study for validity of Ultrasound Bone Densitometry using "Benus"

Takahiro TATEBE, Yasuhiko TAKANASHI, Yoshitaka MIZUTANI,
Takayuki MIURA

Abstract

Seventy-eight healthy Japanese women, 20's to 70's were evaluated for bone mass by two methods — DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) measured at the 2nd-4th lumbar spine and right calcaneus (Bone Mineral Density: BMD), and Ultrasound bone densitometry measured at the right and left calcaneus by Benus (Bone Area Ratio: BAR). The results were as follows.

(1) The relation between the results measured by DEXA in different parts was very high, therefore, it is possible to estimate the bone mass of lumbar spine, by measurement of calcaneus.

(2) BAR is useful to conjecture the bone mass in screening, because of high correlation among BMD and BAR.

(3) The correlation coefficient between BMD and BAR at calcaneus was 0.592. This results would mean the difference of quality among two methods, BMD and BAR.

(4) There was a little difference between BMD and BAR ($r = 0.592$), but Ultrasound Bone Densitometry is useful to estimate bone mass for screening.

<はじめに>

QOLの維持に関係が深い骨粗鬆症を予防するためには、現在の骨量とその経年的変化を知ることがまず必要となる。このためには正確・簡便で且つ侵襲の少ない骨量の測定法が必要となる。

現在骨量測定で広く使われている方法にはX線を用いる測定法と超音波を用いる測定法の二種類があり、X線法で代表的なものは、DEXA法(Dual Energy X-ray Absorptiomet-

ry)である。DEXA法は、全身どの部位でも測定が可能で、その測定値も信頼できると考えられている。しかし問題点として、(1)測定・解析には比較的時間がかかり、一定時間内に測定できる被験者の数に限りがあること、(2)測定機器が高価であり、設置数に限りがあること、(3)X線被曝を受けること、などが挙げられている^{1) 2)}。

一方、超音波法は、測定可能部位が皮下組織・筋肉の少ない部位に限られているが、X線を使用しないことでDEXA法とは大きく異なる利

点を持っている。すなわち超音波法の利点としては、(1) X線被曝を受けず、妊娠の可能性ある女性や子供においても安全であること、

(2) X線装置と比較して小型軽量、移動も可能で、出張検診にも利用できること、(3) X線管理区域外での使用が可能であること、などが挙げられている^{2) 3)}。それぞれに利点、欠点を持つ両測定法は、測定目的・条件・環境により使い分けられることで、有用な方法となる。

本研究では、スクリーニング・経時的に繰り返す測定に適した超音波法による測定機器 Benus により得られた骨梁面積率の値を、現在最も信頼性が高いとされる DEXA 法による骨密度 (Bone Mineral Density: BMD) の値と比較することで、超音波法による測定の有用性について検討する。

<対象・方法>

対象：無作為に抽出し、測定の内容を説明し、同意を得た 20 代 - 70 代の健常女性 78 例を対象とした。対象の年代別内訳は 20 代 14 例、30 代 13 例、40 代 11 例、50 代 16 例、60 代 15 例、70 代 9 例の合計 78 例であった。

使用機器：超音波法の測定には、石川製作所製 Benus を使用し、DEXA 法の測定には、愛知医科大学運動療育センターに依頼し、日立メディコ社製 X-Bone を使用した。

測定方法：同一被験者に対して、DEXA 法では、①腰椎は仰臥位で正面から第 2, 3, 4 腰椎の骨密度 (BMD) を測定し、その平均値を求め、②右踵骨は右側臥位で踵骨の海綿骨部分

の BMD を測定した。

超音波法では、座位で両側踵骨それぞれの骨梁面積率 (Bone area ratio) を測定した。踵骨骨梁面積率の測定に際しては、一カ所につき二回以上測定し、直前の測定値との差が 1% 以内となったときの最終回の値を測定値として採用した。

DEXA 法と超音波法の比較には、① DEXA 法の腰椎に対しては、超音波法の両踵骨の平均値を、DEXA 法の右踵骨に対しては、超音波法も右踵骨の値を採用した。

<結果>

対象の身体的特徴は Table 1 に示す。身長・BMI について年代間における差異がみられた (Table 1)。

1) 同一機種における測定値の比較

同一機種での測定値の関係については、超音波法 (Benus) の左右踵骨の骨梁面積率の間には $R = 0.800$ ($P < 0.001$) と高い正の相関が見られた (Fig. 1)。DEXA 法の腰椎骨密度と右踵骨骨密度との間には $R = 0.766$ ($P < 0.001$) と高い正の相関が見られた (Fig. 2)。

2) DEXA 法骨密度と超音波法骨梁面積率との比較

超音波法 (Benus) の左右踵骨骨梁面積率の平均値と DEXA 法の腰椎骨密度との間には $R = 0.645$ ($P < 0.001$) と比較的高い正の相関が見られた (Fig. 3)。超音波法 (Benus) の右踵骨骨梁

<Table 1> 各年代身長・体重・体脂肪率の平均値

年代	n	年齢	身長	体重	BMI
20代	14	24.1 ± 1.0	157.6 ± 4.80	54.6 ± 7.84	21.9 ± 2.70
30代	13	35.0 ± 3.1	158.5 ± 7.31	53.7 ± 5.78	21.4 ± 2.08
40代	11	44.8 ± 3.9	157.9 ± 5.22	57.1 ± 7.01	23.1 ± 2.46
50代	16	54.3 ± 2.9	155.5 ± 3.44	56.2 ± 7.28	23.2 ± 2.74
60代	15	63.5 ± 2.9	151.5 ± 5.68**	54.6 ± 8.81	23.9 ± 3.32 [†]
70代	9	71.6 ± 2.1	147.4 ± 3.84***	50.0 ± 6.15	23.0 ± 2.55

注) 20代との有意差を示す

** $P < 0.01$ *** $P < 0.001$ [†] $P < 0.1$

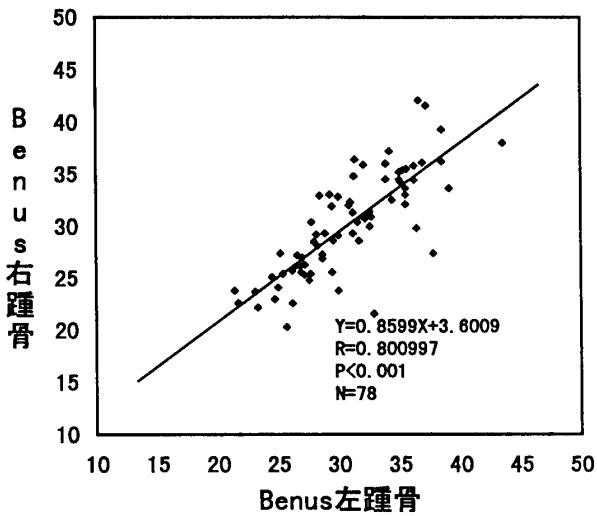


Fig. 1 Benus 左踵骨と Benus 右踵骨

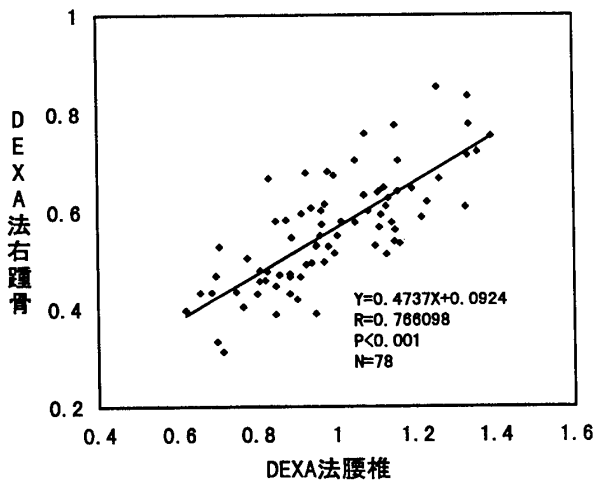


Fig. 2 DEXA 法腰椎と DEXA 法右踵骨

面積率と DEXA 法の右踵骨骨密度との間には $R = 0.592$ ($P < 0.001$) と正の相関が見られたが、同一部位としてはその相関は低い値であった (Fig. 4)。

3) 各測定値の年代別推移

a) DEXA 法腰椎骨密度の年代別推移

20 歳代 1.145 ± 0.137 が 30 歳代では 1.171 ± 0.136 と僅かに増加するが、有意差はなく、以後次第に低下し、50 歳代には、 0.940 ± 0.106 となり、20 歳代の値より、有意に低値 ($P < 0.001$) となっていた (Table 2)。なおその相関係数は

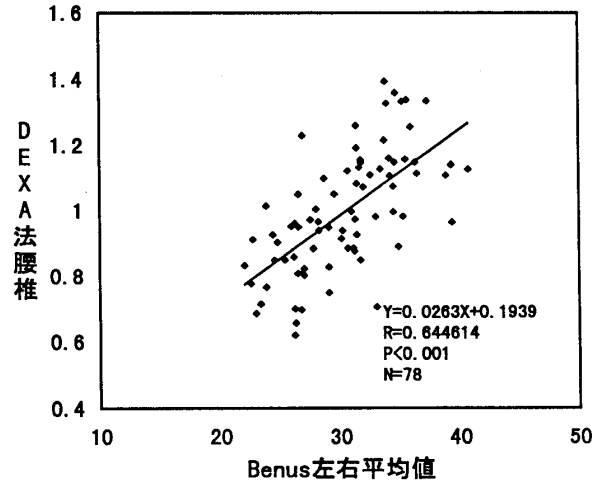


Fig. 3 Benus 左右平均値と DEXA 法腰椎

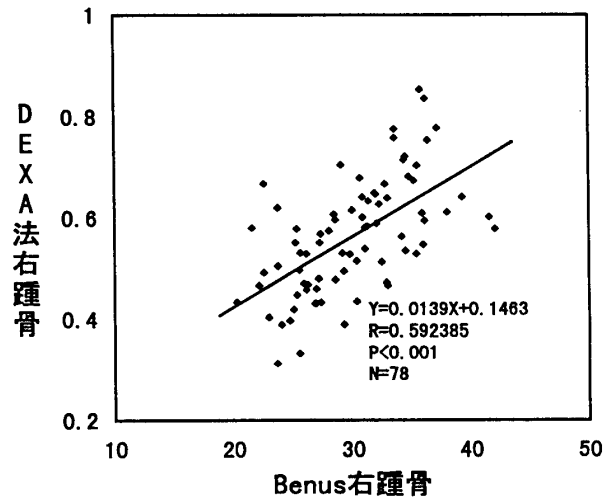


Fig. 4 Benus 右踵骨と DEXA 法右踵骨

$R = -0.752$ ($P < 0.001$) であった (Fig. 5)。

b) DEXA 法右踵骨骨密度の年代別推移

20 歳代 0.657 ± 0.101 が以後次第に低下し、50 歳代には 0.552 ± 0.087 となり、20 歳代の値より有意に低値 ($P < 0.01$) となっていた (Table 2)。なおその相関係数は $R = -0.639$ ($P < 0.001$) であった (Fig. 6)。

c) 超音波法 (Benus) 右踵骨骨梁面積率の年代別推移

20 歳代 34.7 ± 3.8 が以後次第に低下し、40 歳代には 31.0 ± 4.0 となり、40 歳代ですでに 20 歳代の値より有意に低値 ($P < 0.05$) となっていた (Table 2)。なおその相関係数は $R = -$

〈Table 2〉 各年代の測定値の平均と標準偏差

年代	n	DEXA 法腰椎	DEXA 法右踵骨	Benus 右踵骨	Benus 左踵骨
20代	14	1.145 ± 0.137	0.657 ± 0.101	34.7 ± 3.8	34.7 ± 3.1
30代	13	1.171 ± 0.136	0.619 ± 0.101	33.1 ± 4.7	34.4 ± 4.5
40代	11	1.066 ± 0.112	0.618 ± 0.053	31.0 ± 4.0*	31.9 ± 2.9*
50代	16	0.940 ± 0.106***	0.552 ± 0.087**	28.6 ± 3.2***	29.3 ± 2.7***
60代	15	0.839 ± 0.089***	0.464 ± 0.057***	26.6 ± 3.0***	26.7 ± 2.5***
70代	9	0.776 ± 0.118***	0.458 ± 0.116***	26.0 ± 4.0***	27.8 ± 4.7***

注) 20代との有意差を示す

* P<0.05 ** P<0.01 *** P<0.001

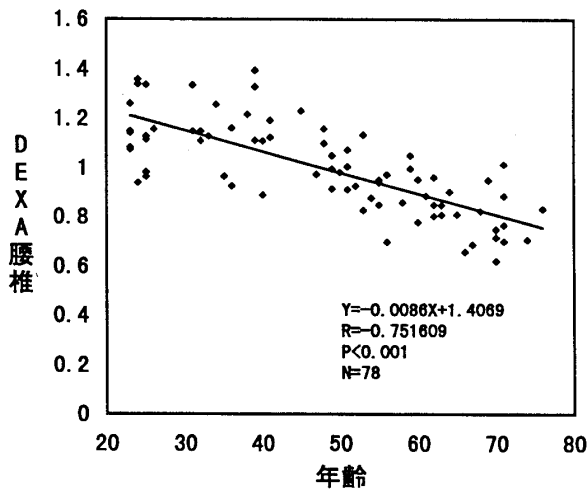


Fig. 5 年齢と DEXA 腰椎

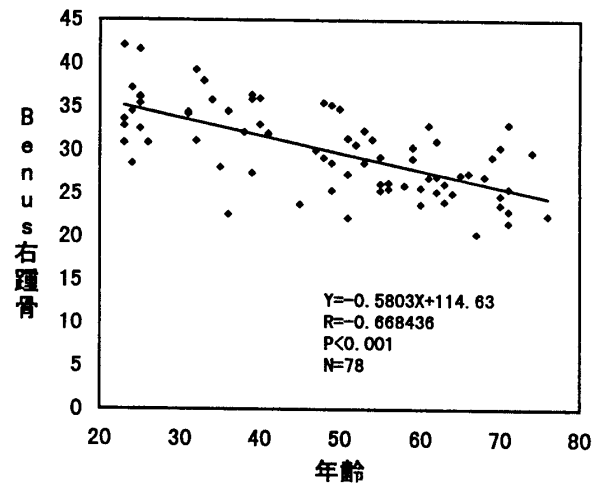


Fig. 7 年齢と Benus 右踵骨

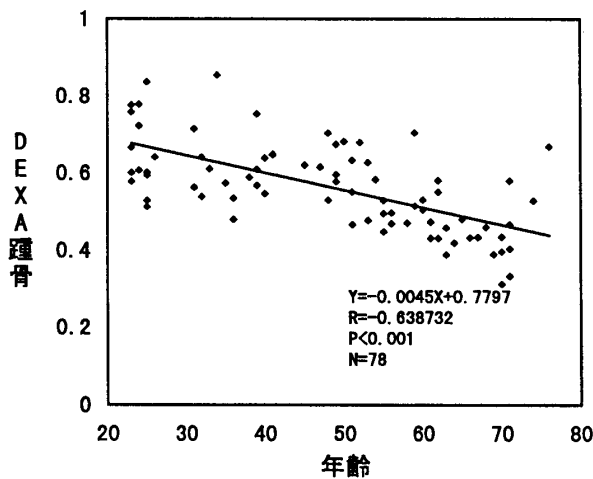


Fig. 6 年齢と DEXA 踵骨

0.668 (P<0.001) であった (Fig. 7)。

d) 超音波法 (Benus) 左踵骨骨梁面積率の年代別推移

20歳代 34.7 ± 3.1 が以後次第に低下し、40歳代には 31.9 ± 2.9 となり、40歳代ですでに20歳代の値より有意に低値 (P<0.01) となっていた (Table 2)。なおその相関係数は $R = -0.665$ (P<0.001) であった (Fig. 8)。

4) 各測定値と身長との関係

a) DEXA 法腰椎骨密度と身長の関係

身長 145cm 未満の 0.755 ± 0.131 が最も少なく、身長が高くなるほど腰椎骨密度は増加し (Table 3), その相関係数は $R = 0.520$ (P<0.001) であった (Table 6)。

b) DEXA 法右踵骨骨密度と身長の関係

身長 145cm 未満の 0.367 ± 0.055 が最も少なく、身長が高くなるほど踵骨骨密度は増加し

〈Table 3〉 各身長別測定値の平均と標準偏差

身長	n	DEXA 法腰椎	DEXA 法右踵骨	Benus 右踵骨	Benus 左踵骨
145cm未満	4	0.755 ± 0.131	0.367 ± 0.055	26.5 ± 2.4	26.0 ± 2.5
145 - 155cm未満	34	0.943 ± 0.175 †	0.547 ± 0.102 **	29.8 ± 5.1 †	30.8 ± 4.9 *
155 - 165cm未満	33	1.050 ± 0.166 *	0.595 ± 0.114 ***	31.0 ± 5.0 *	31.0 ± 4.1 *
165cm以上	7	1.125 ± 0.144 **	0.611 ± 0.050 ***	29.3 ± 3.5	32.5 ± 4.0 **

注) 145cm未満との有意差を示す

* P<0.05 ** P<0.01 *** P<0.001 † P<0.1

〈Table 4〉 各体重別測定値の平均値と標準偏差

体重	n	DEXA 法腰椎	DEXA 法右踵骨	Benus 右踵骨	Benus 左踵骨
50kg未満	22	0.977 ± 0.197	0.526 ± 0.110	31.5 ± 5.0	30.1 ± 5.1
50 - 60kg未満	37	1.026 ± 0.201	0.583 ± 0.118 †	30.0 ± 5.0	30.7 ± 4.7
60kg以上	19	0.955 ± 0.117	0.571 ± 0.103	28.7 ± 4.1 †	31.7 ± 3.5

注) 50kg未満との傾向差を示す

† P<0.1

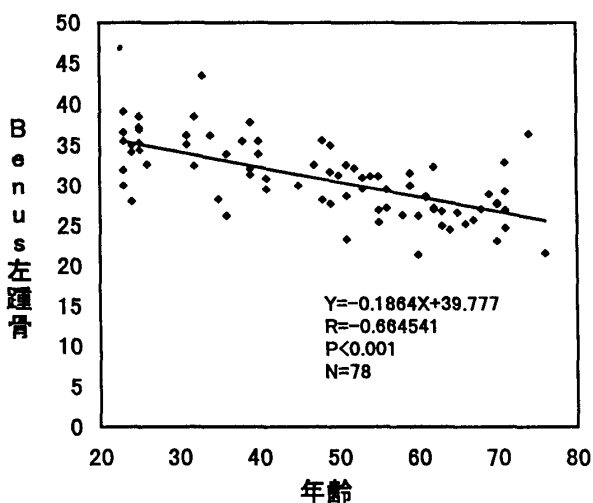


Fig. 8 年齢と Benus 左踵骨

(Table 3), その相関係数は R = 0.457 (P<0.001)であった (Table 6)。

c) 超音波法 (Benus) 右踵骨骨梁面積率と身長
の関係

身長 145cm 未満の 26.5 ± 2.4 が最も少なく、身長が高くなるほど骨梁面積率は増加したが (Table 3), 165cm 以上では 145cm ~ 155cm と同程度であった (Table 3)。なおその相関係数は R = 0.131 にとどまっていた (Table 6)。

d) 超音波法 (Benus) 左踵骨骨梁面積率と身長
の関係

身長 145cm 未満の 26.0 ± 2.5 が最も少なく、身長が高くなるほど骨梁面積率は増加したが (Table 3), その相関係数は R = 0.213 (P<0.05) と低い値であった (Table 6)。

5) 各測定値と体重との関係

a) DEXA 法腰椎骨密度と体重の関係

体重別に見てほとんど同じ値であり、一定の増減傾向は見られなかった (Table 4)。その相関係数も R = 0.138 であった (Table 6)。

b) DEXA 法右踵骨骨密度と体重の関係

体重 50kg 未満と 50 ~ 60kg 未満との間に P<0.1 の傾向差がみられた (Table 4) が、一定の増減傾向はなく、その相関係数は R = 0.334 (P<0.01) であった (Table 6)。

c) 超音波法 (Benus) 右踵骨骨梁面積率と体重
の関係

体重 50kg 未満と 60kg 以上との間に P<0.1 の傾向差がみられた (Table 4) が、その相関係数は R = -0.118 であった (Table 6)。

d) 超音波法 (Benus) 左踵骨骨梁面積率と体重
の関係

〈Table 5〉 各 BMI 別測定値の平均値と標準偏差

BMI	n	DEXA 法腰椎	DEXA 法右踵骨	Benus 右踵骨	Benus 左踵骨
20 未満	14	1.014 ± 0.207	0.536 ± 0.100	31.0 ± 4.9	32.2 ± 4.0
20 - 25 未満	46	1.010 ± 0.189	0.568 ± 0.117	30.1 ± 5.0	30.4 ± 4.3
25 以上	18	0.941 ± 0.146	0.573 ± 0.119	29.3 ± 4.8	30.8 ± 5.3

注) 有意差なし

〈Table 6〉 各測定器の相関係数

	DEXA 法腰椎	DEXA 法右踵骨	Benus 法右踵骨	Benus 法左踵骨
年齢	- 0.751609***	- 0.638732***	- 0.668436***	- 0.664541***
身長	0.519907***	0.457225***	0.130576	0.21303 *
体重	0.138187	0.334078**	- 0.118355	- 0.002105
BMI	- 0.17915 †	0.075808	- 0.22757 **	- 0.13714

注) * P<0.05 ** P<0.01 *** P<0.001 † P<0.1

体重別に見てほとんど同じ値であり、一定の増減傾向も見られなかった (Table 4)。その相関係数も $R = -0.002$ であった (Table 6)。

6) 各測定値と BMI との関係

a) DEXA 法腰椎骨密度と BMI の関係

BMI 値別に見てほとんど同じ値であり、一定の増減傾向も見られなかった (Table 5)。その相関係数は $R = -0.179$ ($P < 0.1$) であった (Table 6)。

b) DEXA 法右踵骨骨密度と BMI の関係

BMI 値別に見てほとんど同じ値であり、一定の増減傾向も見られなかった (Table 5)。その相関係数も $R = 0.076$ であった (Table 6)。

c) 超音波法 (Benus) 右踵骨骨梁面積率と BMI の関係

BMI 値別に見てほとんど同じ値であり、一定の増減傾向も見られなかった (Table 5)。その相関係数は $R = -0.228$ ($P < 0.01$) であった (Table 6)。

d) 超音波法 (Benus) 左踵骨骨梁面積率と BMI の関係

BMI 値別に見てほとんど同じ値であり、一定の増減傾向も見られなかった (Table 5)。その相関係数も $R = -0.137$ であった (Table 6)。

<考察>

1) 同一機種、他部位における測定値の比較

今回の計測において、超音波法 (Benus) の左右踵骨の骨梁面積率の間には $R = 0.800$ ($P < 0.001$) と高い正の相関が見られ、DEXA 法の腰椎骨密度と右踵骨骨密度との間にも $R = 0.766$ ($P < 0.001$) と高い正の相関が見られた。DEXA 法腰椎正面の値と踵骨の比較を行った影近ら⁴⁾は $R = 0.81$ ($P < 0.01$)、勝木⁵⁾らは $R = 0.78$ ($P < 0.01$) と、ともに高い相関が見られたと報告している。このことから、踵骨の骨量から骨粗鬆症の診断に重要な意義を持つ腰椎・大腿骨頸部の骨量の状態を推定することは可能と考えられる。

2) DEXA 法骨密度と超音波法骨梁面積率との比較

今回の計測で、超音波法 (Benus) の左右踵骨骨梁面積率の平均値と DEXA 法腰椎骨密度との間には $R = 0.645$ ($P < 0.001$) と比較的高い正の相関が見られた (Fig. 3)。DEXA 法腰椎と超音波法踵骨の比較を行った影近ら⁴⁾は $R = 0.77$ ($P < 0.01$)、勝木ら⁵⁾は $R = 0.68$ ($P < 0.01$)、遊ら⁶⁾は $R = 0.725$ (SOS), $R = 0.450$ (BUA), 小野田ら⁷⁾は $R = 0.693$ ($P < 0.01$) と高い相関が得

られたと報告している。

一方、超音波法 (Benus) の右踵骨骨梁面積率と DEXA 法の右踵骨骨密度との間には $R = 0.592$ ($P < 0.001$) と正の相関が見られたが、同一部位としてはその相関係数は期待よりも低い値であった (Fig. 4)。一方、踵骨の同一部位で DEXA 法と超音波法を比較した小野田ら⁷⁾は $R = 0.873$ の高い相関が、水口ら¹⁰⁾は $R = 0.536$ (左踵骨), $R = 0.617$ (右踵骨) が得られたと報告している。さらに DEXA 法と超音波法を比較した他の報告では、田川ら³⁾は $R = 0.682$ (中指) であったと報告、鈴木ら⁸⁾、濱松ら⁹⁾も $P < 0.01$ の有意な相関が得られたと報告している。今回右踵骨の同一部位で、その相関係数が $R = 0.592$ と期待より低かったのは超音波法が骨梁面積率を測定し、DEXA 法は骨密度を測定しているためと考えられる。

3) 各測定値の年代別推移

a) DEXA 法腰椎骨密度の年代別推移

今回の計測で、DEXA 法では腰椎と踵骨の BMD が 50 歳代で 20 歳代より有意に低下し、超音波法では左右の踵骨骨梁面積率が 40 歳代ですでに 20 歳代より有意に低下していた (Table 2)。

測定値と年齢の相関を見ると、DEXA 法では腰椎 BMD で $R = 0.752$ (Fig. 5), 右踵骨 BMD で $R = 0.639$ (Fig. 6) と有意の負の相関が見られ、超音波法でも踵骨骨梁面積率に $R = 0.668$ (右) (Fig. 7), $R = 0.665$ (左) (Fig. 8) と有意の負の相関が見られた。その相関係数の差は僅かであるが腰椎 BMD の相関が最も高く、次いで踵骨骨梁面積率の相関で、踵骨 BMD の相関が低かった (Table 6)。この結果は鈴木ら⁸⁾が DEXA 法の測定値が超音波法の測定値より強い相関を示したとする報告に一致する。しかし踵骨でみると超音波法の相関係数が DEXA 法より高く、年代別推移では、超音波法ですでに 40 歳代で骨梁面積率が有意に 20 歳代より低下しているのに対し、DEXA 法では 50 歳代で初めて BMD 値に有意な低下がみられ、濱松ら⁹⁾の超音波法が DEXA 法より閉経前と閉経

後の差が大きかったとする見解に一致する。この結果から超音波法 (Benus) は DEXA 法よりもより少ない骨量の低下の検知が可能である。

4) 各測定値と身長との関係

a) DEXA 法の測定値と身長の関係

鈴木ら⁸⁾は DEXA 法による腰椎 BMD と身長との相関は $R = 0.320$ と報告している。今回の計測では腰椎 BMD で $R = 0.520$, 踵骨 BMD で $R = 0.457$ であった。超音波法による身長との相関は鈴木ら⁸⁾の報告では $R = 0.154$ (SOS), $R = 0.361$ (BUA) であったとし、秋坂ら¹¹⁾は $R = 0.055$ (stiffness) で有意差なしと報告、佐々木ら¹²⁾は超音波による音響的骨評価で有意な相関を認めたと報告するなど、その見解は一致していない。今回の計測では $R = 0.131$ (右踵骨), $R = 0.213$ (左踵骨) であり、DEXA 法と比較して極めて低い相関であった (Table 6)。

5) 各測定値と体重の関係

秋坂ら¹¹⁾は $R = 0.273$ の低い相関が見られたと報告し、佐々木ら¹²⁾、井上ら¹³⁾も超音波法による計測で体重との間に相関があったと報告しているが、今回の計測では、DEXA 法、超音波法ともに一定の増減傾向はみられず、たとえ相関があるとしても極めて低い値であった (Table 6)。

6) 各測定値と BMI の関係

秋坂ら¹¹⁾は $R = 0.275$ の低い相関が見られたと報告し、井上ら¹³⁾も超音波法による計測で BMI との間に相関があったと報告しているが、今回の計測では DEXA 法、超音波法ともに一定の増減傾向はみられず、たとえ相関があるとしても極めて低い値であった (Table 6)。

<まとめ>

1) 腰椎と踵骨の他部位を同一機種で測定した結果極めて高い相関が見られ、踵骨の測定で腰椎・大腿骨頸部などの骨量を類推することは可能である。

2) DEXA 法 BMD と超音波法骨梁面積率との間には高い相関があり、超音波法 (Benus) は骨量測定のスクリーニングとして有用である。

3) DEXA 法 BMD と超音波法骨梁面積率との間には高い相関が見られるが、その相関係数は同一部位の測定でも $R=0.592$ であり、骨密度と骨梁面積率との測定対象の相違が関係すると思われる。

4) 年代別推移をみると、超音波法、DEXA 法ともに負の相関が見られる。超音波法 (Benus) が DEXA 法によるよりも骨量の減少を鋭敏に検知できた。

5) DEXA 法、超音波法ともに身長と正の相関が見られるが、DEXA 法の相関係数が高く、骨密度と骨梁面積率との測定対象の相違が関係すると思われる。

6) 体重・BMI とは、DEXA 法、超音波法ともに一定の増減傾向はみられず、また相関があるとしても極めて低いものであった。

7) 測定対象が「骨密度と骨梁面積率」と異なることから DEXA 法との測定結果に若干の不一致はみられるが、超音波法 (Benus) は骨量測定のスクリーニングとして有用である。

<謝辞>

本研究におきまして、DEXA 法の測定にご協力を頂きました愛知医科大学運動療育センターの高柳富士丸先生はじめ職員の皆様に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 佐々木康夫ら：超音波法 (アキレス) による骨粗鬆症の診断；臨整外 32, 9: 1023-1026 1997
- 2) 中村哲郎 (東京都老人センター内分泌科)：骨検診によるスクリーニングと骨塩定量；Osteoporosis Japan 4, 1: 31-35 1996
- 3) 田川信正ら：中指中節骨における超音波伝播速度測定の有用性；整・災害 41: 81-85 1998
- 4) 影近謙治, 富田勝郎：超音波法による骨密度の判定；骨・関節・靭帯 11 (5): 477-483, 1998.
- 5) 勝木保夫ら：新しい超音波測定装置 (SG-1) の有用性と安全性の検討—フラクタル幾何学の応用—；新しい医療機器研究 3 (2) 19 - 26 (1996)
- 6) 游 逸明ら (滋賀医科大学・放射線科)：超音波による踵骨測定 of 臨床的有用性についての検討；日本骨代謝学会雑誌 10: 301, 1992.
- 7) 小野田敏行 (岩手医大・医・衛生公衛) ら：骨密度の集団検診法に関する研究—DEXA 法と超音波法の併用—；日衛誌 50, 1 :458 1995. 4
- 8) 鈴木隆雄ら：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—；日本公衛誌 43, 1 : 16-27 1996
- 9) 濱松昭雄ら：踵骨乾式超音波法 (Aloka AOS100) による骨量評価の検討 (第一報)—DEXA 法骨量評価との関連性—；産衛誌 40: 46 - 47 1998
- 10) 水口義久 (山梨大学工学部・機械システム工学科) 中島育昌 (山梨医科大学・整形外科) ら：超音波による踵骨内の音速及び DXA による骨密度を用いた骨粗鬆症診断評価；日本臨床バイオメカニクス学会誌 8, 311-316: 1997.
- 11) 秋坂真史ら：スポーツ関連因子からみた女子高校生の骨密度に関する研究；体力科学 46. 375-382 1997.
- 12) 佐々木資成ら：思春期における踵骨超音波法による音響的骨評価について；日衛誌 53, 1 :116 1998. 3
- 13) 井上辰樹ら：超音波法による踵骨の伝播速度、広帯域超音波減衰係数と皮脂厚、筋厚分布との関係；体力科学 46. 6: 630 1997