

《原 著》

Beam Scanner による Bone Mineral Content 測定

— 基礎的検討ならびに臨床的評価 —

高坂 唯子* 山本 逸雄** 土光 茂治** 福永 仁夫**
 森田 陸司* 鳥塚 莞爾**

要旨 Beam Scanner (アロカ社製) を用いて骨中ミネラル量 (BMC) 測定を行い、基礎的ならびに臨床的評価を加えた。本法の再現性は、スタンダードファントムで 2.3% (C.V.), 人体(橈骨)で 4.3~4.8% (C.V.) と良好な再現性が得られた。また、Hydroxyapatite および牛骨の重量と BMC の間には直線的な関係が得られた。臨床例として正常人 (211例), 甲状腺疾患 (35例), 副甲状腺疾患 (4例), 慢性腎不全症 (7例), 慢性リウマチ様関節炎 (21例), 筋ジストロフィー症 (36例), 癲癇 (200例) の症例について検討を加えた結果, 甲状腺機能亢進症の治療経過観察, 筋ジストロフィー患者の骨粗鬆症の防止の目的に用いた薬剤の効果判定や, 癲癇に使用する抗けいれん剤の影響などについて有用な知見が得られた。本法は手技的にもきわめて簡便であり, 再現性もよく, 骨代謝, 特に脱骨塩疾患について有力な情報を得ることができ, 今後, 臨床的に広く利用されるものと考えられる。

I. 諸 言

1962年, Cameron^{1),2)} らにより photon absorptiometry による Bone Mineral Content (以下 BMC と略す) 測定法が開発されて以来 X 線写真による densitometry^{3),4)} に比し, きわめて簡便で再現性の高い BMC 測定が可能となった。測定方法には 2 種類の核種を用い, 軟部組織および骨組織の吸収率の差から BMC を測定する方法と, 1 核種を用い軟部組織の影響を除外するため水中で測定する方法とがある。現在, 測定によく使用されている核種は ^{125}I (27.5 keV, $T_{1/2}$ 60 days) と ^{241}Am (60 keV, 458 years) などである。

著者ら⁵⁾⁻⁷⁾ はすでにチェルベル社製の Bone Scanner を用いて各種疾患患者の BMC を測定した

結果を報告したが, 今回, アロカ社製の Beam Scanner を用いて基礎的検討ならびに各種疾患患者の BMC について, さらに詳細な検討を行ったのでその結果について報告する。

II. 測定原理

測定に使用した機器はアロカ社製 Beam Scanner Type JSB-102 で ^{241}Am , ^{125}I の両核種を内蔵しており, 1 核種法, 2 核種法のいずれでも測定可能であるが, 今回は ^{241}Am による 1 核種法 (水中法) を用いた。装置の構成は Fig. 1 のブロック図に示すごとく検出器および走査装置のユニットと計測装置のユニットより成っている。

測定原理は Fig. 2 に示すように, 被検部をはさんで線源と検出器を対向させ, 同期プロフィールスキャンを行い, 被検部通過時の各部での吸収率を Fig. 3 に示すように積分して行くものであり, その測定理論は次の通りである。

Fig. 2 に示すように, コリメーターで細い線状に収束された γ 線 I_0 が吸収体を通して検出器に捕捉される強さ I は,

* 京都大学医学部附属病院放射線部

** 京都大学医学部附属病院放射線核医学科

受付: 52 年 9 月 16 日

最終稿受付: 52 年 10 月 31 日

別刷請求先: 京都市左京区聖護院川原町 54 (☎ 606)

京都大学医学部附属病院放射線部

高坂 唯子

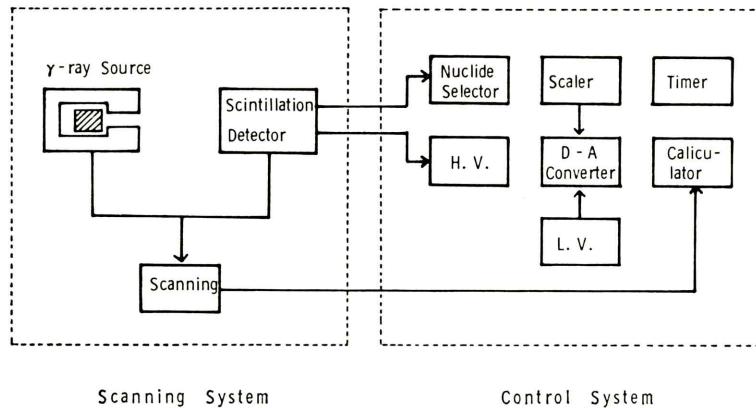


Fig. 1 Block Diagram of Beam Scanner.

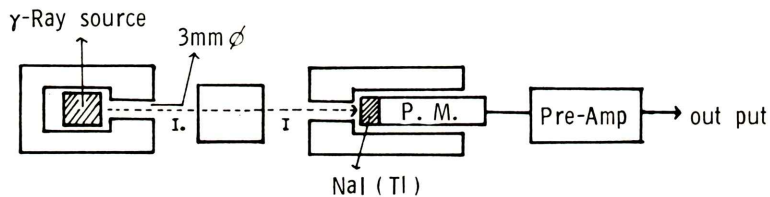


Fig. 2 Illustration of the Principle of Beam Scanner.

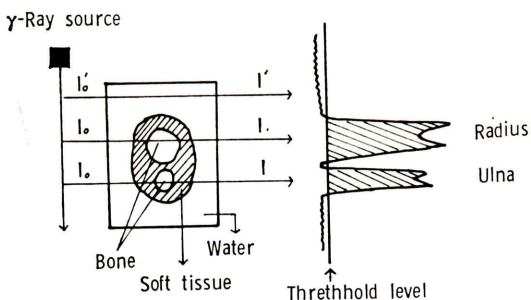


Fig. 3 Transmission Scan and Absorption of Gamma Ray of the Radius and Ulna.

$$I = I_0 e^{-\mu X}$$

μ : 吸収係数

X : 吸収体の厚み

により求められる。

被検体は骨および軟部組織より成っているため、全体の厚みを XT 、骨部の厚みを XB とすると、軟組織により吸収された γ 線の強度 I_0' 、骨と軟組織により吸収された γ 線の強度 I はそれぞれ、

$$I_0' = I_0 e^{-\mu S \cdot \rho S \cdot XT}$$

$$I = I_0 e^{-\mu B \cdot \rho B \cdot XB} \cdot e^{-\mu S \cdot \rho S \cdot (XT - XB)}$$

μS : 軟組織の質量吸収係数

μB : 骨の質量吸収係数

ρS : 軟組織の密度

ρB : 骨組織の密度

となる。したがって、

$$\begin{aligned} \frac{I_0'}{I} &= \frac{I_0 e^{-\mu S \cdot \rho S \cdot XT}}{I_0 e^{-\mu B \cdot \rho B \cdot XB} \cdot e^{-\mu S \cdot \rho S \cdot (XT - XB)}} \\ &= e^{(\mu B \cdot \rho B - \mu S \cdot \rho S) \cdot XB} \end{aligned}$$

となり、骨の厚み XB は、

$$XB = \frac{1}{\mu B \cdot \rho B - \mu S \cdot \rho S} \cdot \ln \frac{I_0'}{I}$$

となる。

単位面積あたりの骨の質量 (g/cm^2) mB は、

$$mB = \frac{\rho B}{\mu B \cdot \rho B - \mu S \cdot \rho S} \cdot \ln \frac{I_0'}{I}$$

であり、これは γ 線の方角に対して 1 cm^2 の面積をもつ直方体の重量を示している。

次に骨の単位長さあたりの質量 (g/cm) MB はスキャン方向に対して、

$$MB = \Sigma \Delta y \cdot mB \\ = \frac{\rho B}{\mu B \cdot \rho B - \mu S \cdot \rho S} \cdot \Sigma \Delta y \cdot \ln \frac{I_0'}{I}$$

で求められる。

そこで軟部組織での吸収を一定にするため被検部を水槽または water bag によって一定幅に保てば、 μB , ρB , μS , ρS は一定であることになり、 $\ln = I_0'/I$ を測定することにより BMC を得ることができる。すなわち、本器により最終的に求められる値 (g/cm) は γ 線の通過方向に対して、被検体を 1 cm 幅で輪切りにしてその重量を測定したものといえる。

III. 方法および対象

1. 基礎的検討

(1) 再現性：基礎的検討としてアルミニウムスタンダードおよび人体による測定値の再現性を検討した。アルミニウムスタンダードは重量 3.05 g/cm, 直径 12 mm の円柱形のものを用いた。人体による再現性は、成人男女各 1 例について橈骨の骨頭部より近位 5 cm の距離で連続 4 回スキャンを行って、その平均値を用いかつ 1 日おきに 7 回の測定を行い経日的変化を観察した。なお、人体の測定を行う場合 1 核種法では water bag を用いるようになっているが、実際には装着方法に若干の困難を伴うため著者らは独自に幅 6 cm の水槽を作成し、すべての測定を水槽を用いて行った。

(2) スタンダードの検討：Hydroxyapatite の濃度を変えて (0.119, 0.418, 0.811, 0.995, 1.738 g/cm) 5 本の試料を作成し、その重量と BMC との関係を検討した。さらに、牛骨(肋骨)を長さ 2~3 cm の小切片に輪切りにし、1 切片につき場所をかえて 3 回の BMC 測定を行った後、同切片を 700°C の電気炉で灰化して 1 cm あたりの重量を求め、 BMC との関係を検討した。

2. 臨床的検討

臨床的検討として以下の症例について BMC 測

定を行った。測定はすべて橈骨骨頭部より近位 5 cm の距離で各 4 回のスキャンを行いその平均値を用いた。

(1) 正常人：正常人男子 98 例, 女子 113 例, 合計 211 例について BMC 測定を行い、年齢別分布および BMC と骨幅 (width) との関係を検討した。

(2) 甲状腺疾患：甲状腺機能亢進症 12 例, 正常機能甲状腺腫 23 例, 合計 35 例について BMC 測定を行い、そのうち機能亢進症 6 例について、抗甲状腺剤による治療開始後 1 カ月ごとに BMC 測定を行い経過観察を行った。

(3) 副甲状腺機能亢進症および低下症：副甲状腺機能亢進症 3 例, 同低下症 1 例について BMC 測定を行った。

(4) 慢性腎不全症：慢性腎不全症 7 例について BMC 測定を行った。7 例中透析前の症例は 2 例, 透析中の症例は 5 例で、透析期間は短いもので 5 週間, 長いものは 8 年間であった。

(5) 慢性リウマチ様関節炎症：慢性リウマチ様関節炎症で Stage II-IV に該当する症例, 男子 4 例, 女子 17 例, 合計 21 例について BMC 測定を行った。

(6) 筋ジストロフィー症：筋ジストロフィー患者の骨粗鬆症を防止する目的でブタカルチトニンおよび $1\alpha\text{OHD}_3$ を投与し、その投与前後の BMC 測定を行った。対象は国立宇多野療養所筋ジストロフィー病棟入院中の 36 例で、対象群 9 例, カルチトニン投与群 11 例, $1\alpha\text{OHD}_3$ 投与群 16 例の 3 群に分けて観察した。投与量はブタカルチトニンは 40 単位, 週 3 回投与, $1\alpha\text{OHD}_3$ は 30 ng/B.W. 以下のものと 60 ng/B.W. 以上の 2 群に分けて観察した。

(7) 癲癇：癲癇に使用する抗けいれん剤により骨軟化症あるいは骨粗鬆症をきたす^{8)~11)}といわれているが、本院小児科外来受診中の癲癇の症例について BMC 測定を行い、薬剤影響の有無を検索した。対象症例は、男子 99 例, 女子 101 例, 合計 200 例で、年齢は 5.4~22.1 歳までで、使用している薬剤は Aleviatin, phenobarbital, Diamox などであり、使用期間は 1~156 カ月の間であった。

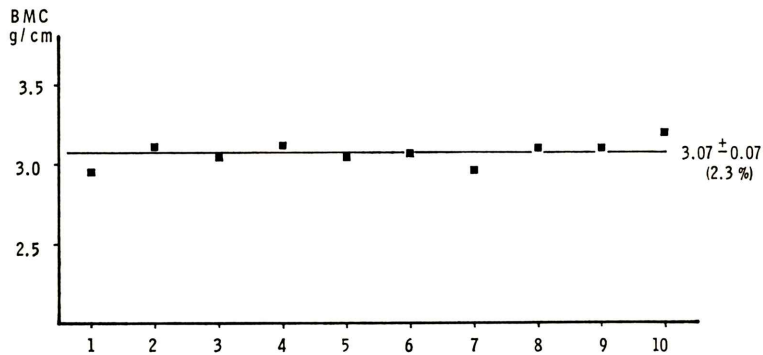


Fig. 4 Reproducibility of the Measurement of BMC using Phantom.

IV. 結 果

1. 基礎的検討結果

(1) 再現性：標準アルミニウムファントムを用いて連続10回スキャンを行った結果，Fig. 4 に示すように，BMC の平均値および標準偏差は 3.07 ± 0.07 g/cm であり，2.3% の変動率であった．また，男女各1例の経日的測定の結果は，Table 1 に示すように橈骨で 4.3～4.8%，尺骨で 6.1～7.1% の変動率であり，橈骨での変動率に比し，尺骨の方が大きな変動率を示した．BMC/W では変動率はいずれの場合にも小さくなることが認められた．

(2) スタンダードの検討：濃度の異なった Hy-

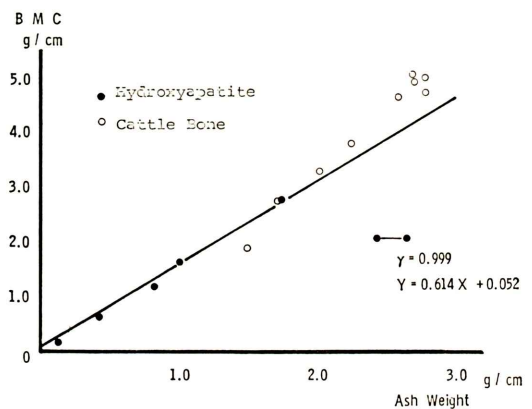


Fig. 5 Relation Between BMC and Ash Weight of Various Amounts of Hydroxyapatite (●) and the Cattle Bone (○).

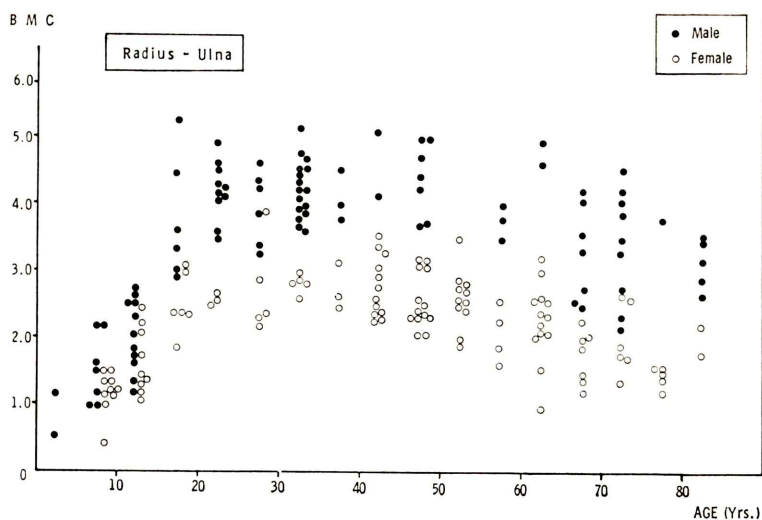


Fig. 6 Age Distribution of BMC in Normal Subjects.

Table 1 Reproducibility of Measurement of BMC

	Male									Female								
	Radius			Ulna			Total			Radius			Ulna			Total		
	BMC	Width	$\frac{BMC}{W}$	BMC	Width	$\frac{BMC}{W}$	BMC	Width	$\frac{BMC}{W}$	BMC	Width	$\frac{BMC}{W}$	BMC	Width	$\frac{BMC}{W}$	BMC	Width	$\frac{BMC}{W}$
1	2.53	1.95	1.30	1.64	1.36	1.21	4.17	3.31	1.26	1.65	1.50	1.10	1.15	1.21	0.95	2.80	2.71	1.03
2	2.64	1.95	1.35	1.85	1.50	1.23	4.49	3.45	1.30	1.60	1.35	1.13	1.15	1.12	1.03	2.75	2.47	1.11
3	2.40	1.88	1.28	1.77	1.43	1.24	4.17	3.31	1.26	1.61	1.43	1.13	1.10	1.13	0.97	2.71	2.56	1.06
4	2.66	1.98	1.34	1.86	1.37	1.36	4.52	3.35	1.35	1.50	1.31	1.15	1.05	1.16	0.91	2.55	2.47	1.03
5	2.34	1.83	1.28	1.70	1.36	1.26	4.04	3.21	1.26	1.60	1.38	1.16	1.11	1.08	1.03	2.71	2.46	1.10
6	2.46	1.86	1.32	1.95	1.59	1.23	4.41	3.45	1.28	1.73	1.51	1.15	1.24	1.15	1.07	2.97	2.66	1.12
7	2.54	1.98	1.28	2.01	1.48	1.35	4.55	3.46	1.32	1.67	1.50	1.11	1.23	1.18	1.04	2.93	2.68	1.09
Mean	2.51	1.92	1.31	1.83	1.44	1.27	4.34	3.36	1.29	1.62	1.43	1.13	1.15	1.15	1.00	2.77	2.57	1.08
($\pm 1SD$)	0.12	0.06	0.13	0.13	0.09	0.06	0.20	0.09	0.04	0.07	0.08	0.02	0.07	0.04	0.06	0.14	0.11	0.04
CV (%)	4.8	3.1	2.3	7.1	6.3	4.7	4.6	2.6	3.1	4.3	5.6	1.8	6.1	3.5	6.0	5.1	4.3	3.7

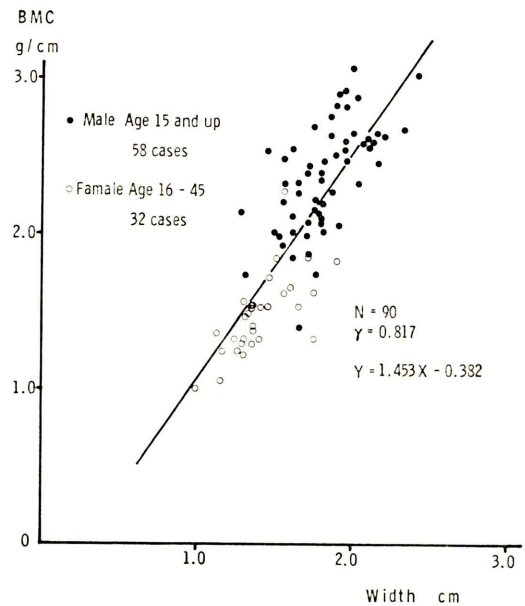


Fig. 7 Relation between BMC and width of the Radius in Normal Subjects.

droxyapatite スタンダードと BMC の間には Fig. 5 (●印) に示すように、相関係数 0.999, $Y = 0.614X + 0.052$ と直線的な関係が得られたが、Hydroxyapatite 試料はアルミニウムスタンダードに比し、1.62 倍の高値を示した。さらに、動物骨(牛骨)を小切片に分割して、700°C の電気炉で灰化して求めた重量と、BMC との間には Fig. 5 (○印) に示すように、ほぼ直線的な関係が認められたが、BMC は Hydroxyapatite の場合と同様にアルミニウムスタンダードに比し高値を示した。

2. 臨床的検討結果

(1) 正常人: Fig. 6 に正常人 211 例の橈骨および尺骨の総 BMC の年齢別分布を示す。男女とも 15 歳までは差がほとんど認められないが, 15 歳以降男子の BMC は急速に上昇し, 男女とも 20~30 歳代に最高値に達し, さらに加齢とともに男子の BMC 減少は比較的緩やかであるのに対し女子では 40 歳代後半よりの減少が顕著であった。

Fig. 7 は正常人男子15歳以上の58例, 女子15~45歳までの32例, 合計90例の BMC と骨幅との関係を示すが, 相関係数 0.817, $Y=1.453X-0.382$

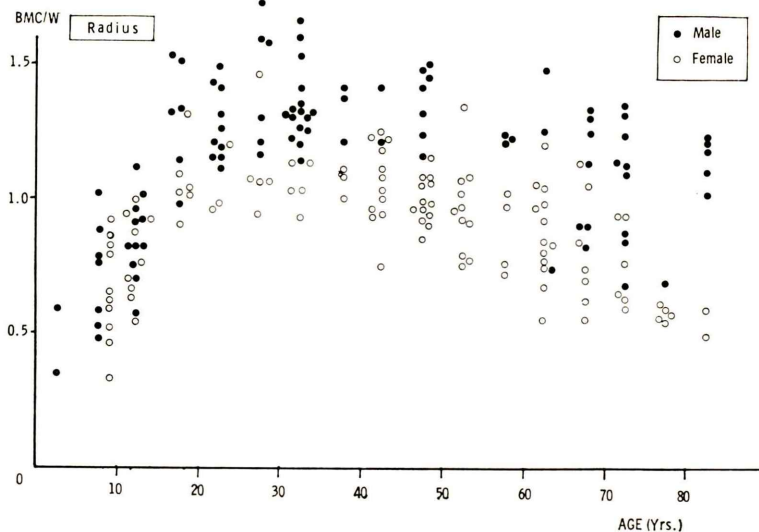


Fig. 8 Age Distribution of BMC/W Index in Normal Subjects.

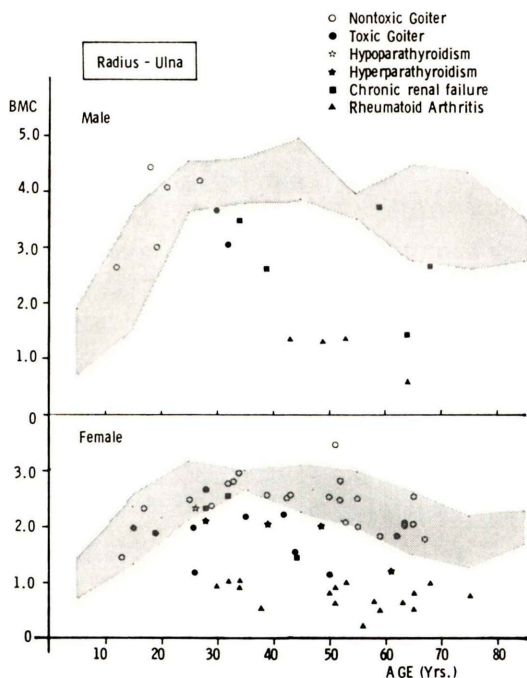


Fig. 9 Age Matched Distribution of BMC in Patients with Various Diseases.

なるほぼ直線的な関係が認められた。

Fig. 8 は橈骨の BMC をそれぞれの骨幅で割って得た Index (BMC/W) による年齢別分布である

が、Fig. 6 の総 BMC の年齢分布に比し、各年齢において性別の重なり合いが増しているが、全体の傾向としては差が認められなかった。

(2) 各種疾患例：Fig. 9 は正常人の BMC を 10 歳ごとに区切ってそれぞれの平均と標準偏差を求め、正常域を 1SD の幅で定めて、これに対し各種疾患患者の BMC の分布をみたものである。甲状腺疾患では正常機能甲状腺腫の症例が正常域に分布しているのに対し、血中アルカリフォスファターゼが上昇し骨代謝の亢進していると思われる甲状腺機能亢進症^{12)~14)}では男女共、低値を示すものが多くみられた。副甲状腺機能低下症の 1 例は正常域に分布したが、同亢進症の 3 例はいずれも比較的低値を示した。慢性腎不全症では長期透析例に BMC の低下を示すもの¹⁵⁾が多くみられ、BMC 2.62, 1.42 g/cm の低値を示した症例は共に 8 年間透析を行っている症例であった。慢性リュウマチ様関節炎の 21 例は全例が低値に分布し、stage IV に該当する症例(女子)は BMC 0.23 g/cm ときわめて低値であった。

(3) 甲状腺機能亢進症：Fig. 10 は甲状腺機能亢進症の患者について治療開始前後の BMC/W の変動を観察したものである。対照 (non-toxic goiter) の 3 症例では、第 1 回の測定および 2 カ月

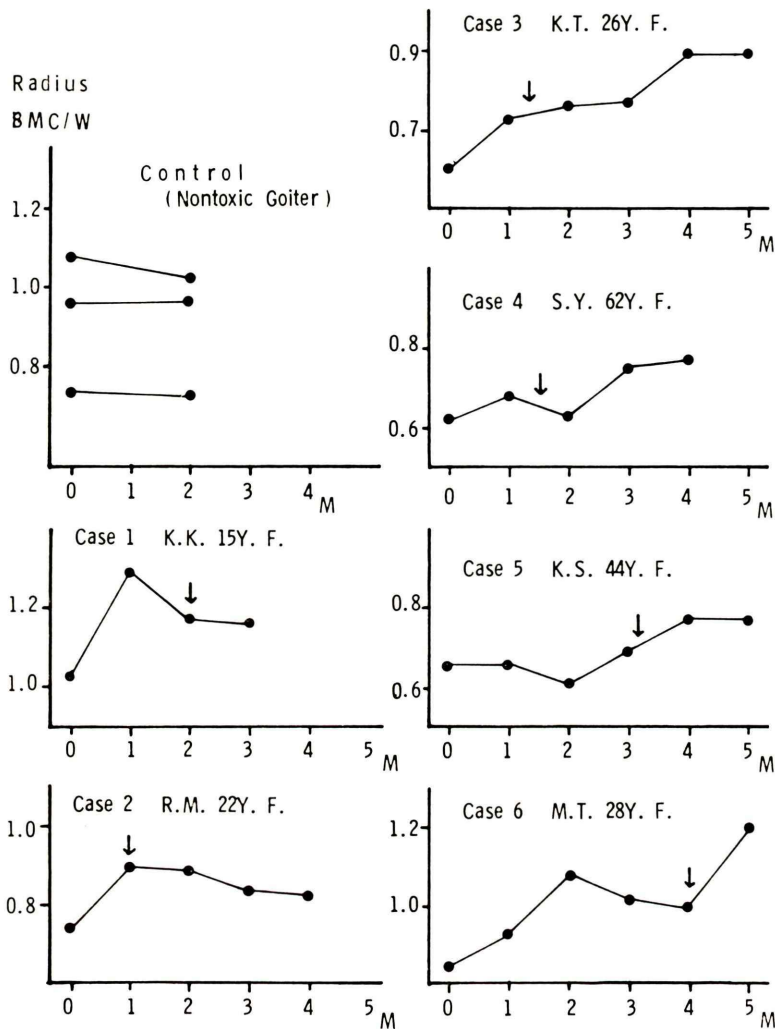


Fig. 10 Chronological Changes in BMC/W Index in 6 Patients with Graves' Disease Before and After Treatment.

後の測定値の間にはほとんど変化が認められないのに対し、亢進症の症例の多くは治療開始1カ月頃より BMC/W の上昇が認められた。また、高齢者よりは若年者の方が治療開始後の BMC 上昇は速やかであった。図中に示す↓印は T_4 値が正常に復した時点を示しているが、BMC/W はこれより若干早く上昇する傾向が認められた。

(4) 筋ジストロフィー症：筋ジストロフィー患者の骨粗鬆症の進行を防止する目的でブタカルチニン、 $1\alpha\text{OHD}_3$ の投与を行い、投与開始後3～

6カ月で BMC の測定を行った。Fig. 11 に示すように対照群においては BMC/W は9例中2例にわずかな上昇が認められたが有意の差とは認められず、ほぼ不変かもしくは減少しているのに対し、ブタカルチニン投与群では11例中2例に有意の上昇が認められ、 $1\alpha\text{OHD}_3$ 投与群では投与量 30 ng/B.W. 以下の症例は8例中7例に有意の上昇が認められた。しかし投与量 60 ng/B.W. 以上の症例では不変かもしくは減少する傾向が認められた。

(5) 癲癇：Aleviatin, phenobarbital, Diamox ら

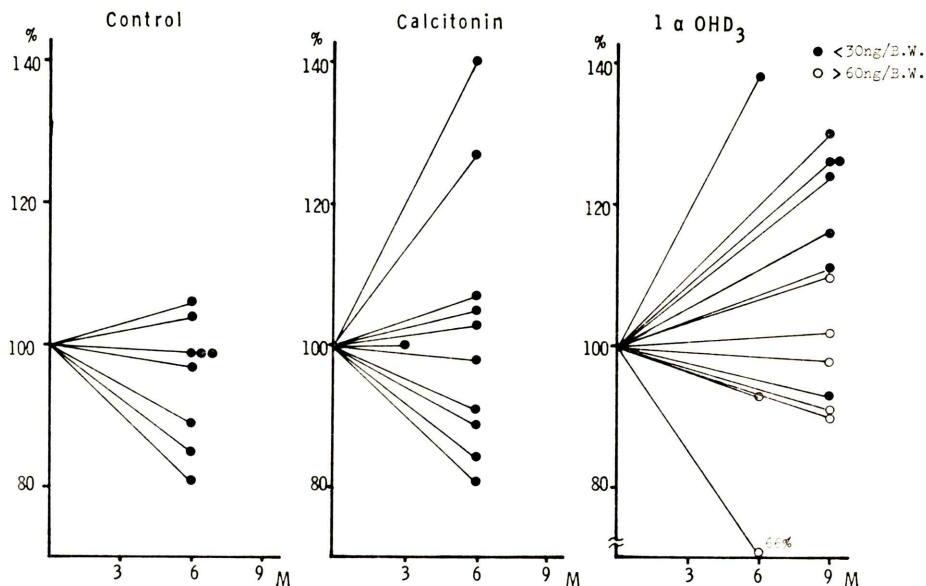


Fig. 11 Chronological Changes in BMC/W Index in Patient with Muscular Dystrophy after Treatment.

の抗けいれん剤を使用している癲癇患者 200 例について BMC の測定を行ったが、Fig. 12 に示すように少数の例外を除いて大部分は正常者と有意の差はなかった。

V. 考 察

Photon absorptiometry による BMC 測定は X 線 densitometry に比べ、精度も高く簡便であるといわれている。諸家^{1), 2), 16)~20)}の報告によると再現性は 2~4% レベルであり、著者らの測定結果では、スタンダードの場合 2.3%, 人体で 4.3~4.8% の変動率で若干の差があった。この差の原因は、人体の場合測定部位を一定に保つことが困難であり、さらに体動による変動や、筋肉、脂肪層の影響を完全に除去し得ない結果と考えられる。また、Table 1 に示したように、橈骨、尺骨における BMC の変動率は男女共尺骨部の方が大きく、これは尺骨の解剖学的位置からみて、測定時のわずかなずれにより影響を受けるためと考えられ、橈骨部のみの測定値を用いる方が変動率が少ないと考えられる。さらに、BMC/W を用いると

変動率は 1.8~2.3% と小さくなり経時的観察を行う場合には BMC/W の Index の使用が適当と考えられる。

次に、使用する較正用スタンダードについてであるが、付属のアルミニウムスタンダードを用いて測定した動物骨、Hydroxyapatite の BMC は実際の重量より 1.62 倍の高値を示した。従って、アルミニウムスタンダードを使用して得た BMC は骨の長さ 1 cm あたりのアルミニウム該当量であって、これより骨塩量を得るためには 1.62 倍の補正係数をかける必要がある。

BMC の正常値は骨生成、骨再構築の程度において著しく異なるため、年齢、性別の影響が大きく、さらに BMC の低下を示す高齢者の骨粗鬆化には生理的变化か病的変化のいずれかの判定が困難である。そのために BMC の補正として年齢、性、体重、身長などの因子を用いる方法が試みられているが^{16), 17), 20)~23)}、これらについては今後の検討が待たれる。著者らは疾患患者の測定に際しては、BMC, BMC/W を正常者の年齢別、性別分布との比較において解釈を行っている。

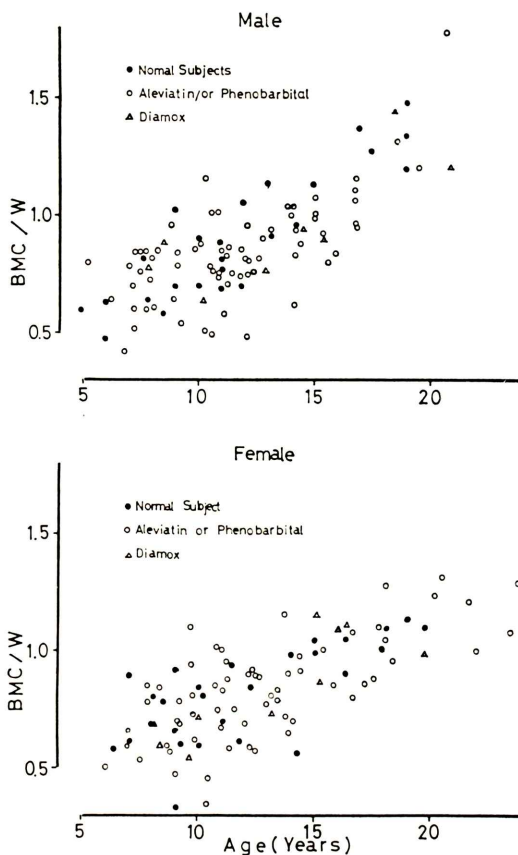


Fig. 12 Age Distribution of BMC/W Index in Pediatric Patients on Anticonvulsants.

臨床的検討結果では、血中アルカリフォスファターゼが上昇し、骨代謝の亢進するといわれている甲状腺機能亢進症の治療症例で、甲状腺機能の正常化とともに骨代謝が正のバランスとなり BMC の回復することが認められた。

また、disuse に起因すると思われる筋ジストロフィー症の骨粗鬆症に対するブタカルチトニン、 $1\alpha\text{OHD}_3$ 投与例では対照群に比して、BMC の有意の上昇を示した症例が、カルチトニン治療群で 11 例中 2 例、 $1\alpha\text{OHD}_3$ 治療群で 16 例中 7 例に認められた。さらに投与量との関係を見ると $1\alpha\text{OHD}_3$ 治療群で 30 ng/B.W 以下のものに有意の上昇をみたものが多く、60 ng/B.W 以上の場合には不変かもしくは減少する傾向があった。したがって、

このように薬剤の効果判定、投与量の決定や経過観察に BMC 測定はきわめて有用な方法と思われた。

VI. 結 語

アロカ社製 Beam Scanner を用い ^{241}Am 水中測定法による BMC 測定を行い基礎的な並びに臨床的検討を行った。

基礎的検討において、本法の測定値の変動率はスタンダードで 2.3%、人体で 4.3~4.8% と再現性にすぐれ、Index (BMC/W) の使用により変動率はさらに小さくなった。

また、スタンダードについて動物骨、Hydroxyapatite を用いて検討した結果、測定値に 1.62 倍の補正係数をかけることにより、実際の BMC により近い値を得ることができると考えられた。

BMC 測定は簡便な手技で行え、再現性もよく、臨床的には骨代謝、ことに脱骨塩疾患の骨塩量を定量的に測定し得て、骨代謝に有用な情報を得ることができた。

ただ、 γ 線吸収の現在抱している問題点は、第 1 に、骨脱灰はすべての骨に均一に起きるものではなく、したがって一部の末梢骨のみを測定している本法は、全身中性子放射化分析による総カルシウム測定法^{24)~26)}に劣るといえる。しかし、将来本法によって末梢骨のみならず軀幹骨の骨塩量測定が可能になれば、この問題が解決されるのみならず、局所的骨腫瘍などのカルシウム代謝の検索にも利用し得るものと考えられる。

第 2 に、各個人における BMC は、人種、性別、年齢、生活環境等複雑な要素^{23), 27)} がからんでおり、共通した評価基準を得るためにはさらに詳細な検討が必要と考えられる。

本論文の要旨は第 16 回核医学総会において発表した。

文 献

- 1) Cameron JR, Grant R, MacGregor R: An Improved Technic of Bone Mineral Content in Vivo. *Radiological Physics* 78: 117, 1962
- 2) Cameron JR and Sorenson J: Measurement of

- Bone Mineral in Vivo: An Improved Method. *Science* **142**: 230-232, 1963
- 3) Lachman E: Osteoporosis: The Potentialities and Limitations of Its Roentgenographic Diagnosis. *Amer J Roent* **74**: 712-715, 1955
 - 4) Voget FB, Meharg LS, and Mark PB: Use of a Digital Computer in the Measurement of Roentgenographic Bone Density. *Amer J Roent* **105**: 870-876, 1969
 - 5) 山本逸雄, 森田陸司, 鳥塚莞爾他: Bone Scanner による骨中ミネラル量測定経験について, 第8回骨代謝研究会口演 1974
 - 6) 高坂唯子, 藤田 透, 中島言子他: Bone Scanner による骨中ミネラル量の測定と臨床的評価, 日放技学会口演 1974
 - 7) 山本逸雄, 土光茂治, 福永仁夫他: Bone Mineral Analyzer による骨塩定量. *核医学* **13**: 759-767, 1976
 - 8) Richens A, Rowe DJF: Disturbance of Calcium Metabolism by Anticonvulsant Drugs. *Brit Med J* **4**: 73-76, 1970
 - 9) Dent CE, Richens A and Rowe DJF: Osteomalacia with Long-term Anti-convulsant Therapy in Epilepsy. *Brit Med J* **4**: 69-72, 1970
 - 10) Mallette LE: Anticonvulsants, Acetazolamide and Osteomalacia. *New Eng J Med* **293**: 668, 1975
 - 11) 武越靖郎, 田中正人, 松田一郎: 抗けいれん剤投与時の骨脱灰と腎性アシドーシス. *小児科臨床* **29**: No. 4, 1976
 - 12) Nielson H: The Bone System in Hyperthyroidism-A Clinical and Experimental Study-. *Acta Medica Scandinavica (supplement)* **142**: 783-795, 1952
 - 13) Ikkos DG, Katsichetis P, Ntalles K et al: Osteoporosis in Thyrotoxicosis. *Lancet* **2**: 1159, 1971
 - 14) Laake H: Osteoporosis in Association with Thyrotoxicosis. *Acta Medica Scandinavica* **15**: 229-235, 1955
 - 15) Atkinson PJ, West RR, Parsons FM et al: Loss of Skeletal Calcium by Patient on Maintenance Dialysis. *Brit Med J* **3**: 490-492, 1970
 - 16) RR West MA: The Estimation of Total Skeletal Mass from Bone Densitometry Measurements Using 60 kev Photons. *Brit J Radiology* **46**: 599-603, 1973
 - 17) Sorenson JA, and Cameron JR: Measurement of Bone Mineral Content in Vivo by Monochromatic Radiation Absorption. European Association of Radiology "Symposium Ossium". Edited by Jelliffe AM, and Strickland BE, and S Livingstone London: 151-153, 1970
 - 18) Sorenson JA, and Cameron JR: A Reliable in Vivo Measurement of Bone Mineral Content. *J Bone & Joint Surg* **49-A**: 481-497, 1967
 - 19) Rovert EZ, Harry JG and Carl DO: Bone Mineral Measurement by Means of Photon Absorption. *Radiology* **106**: 561-564, 1973
 - 20) Jhonstone CC, Smith DM, Yu Pao-Lo et al: In Vivo Measurement of Bone Mass in the Radius. *Metabolism* **17**: 1140-1153, 1968
 - 21) 貞光俊二, 白須敏夫, 森崎直木: 水中および空中における生体内骨塩定量法の比較, 骨代謝 **8**: 355-360, 1975
 - 22) Cohn SH, Ellis KJ, Wallach S, et al: Absolute and Relative Deficit in Total-Skeletal Calcium and Radial Bone Mineral in Osteoporosis. *J Nucl Med* **15**: 428-435, 1974
 - 23) Goldsmith NF, Johnstone JO, Picetti G et al: Bone Mineral in the Radius and Vertebral Osteoporosis in an Insured Population. *J Bone & Joint Surg* **55-A**: 1276-1293, 1973
 - 24) Cohn SH, Dombrowski CS: Measurement of Total Bone Calcium, Sodium Chlorine, Nitrogen and Phosphorus in Man by in Vivo Neutron Activation Analysis. *J Nucl Med* **12**: 499-505, 1971
 - 25) Nelp WB, Palmer HE, Murano R et al: Measurement of Total Body Calcium (bone mass) in Vivo with the Use of Total Body Neutron Activation Analysis. *J Lab Clin Med* **76**: 151-162, 1970
 - 26) Harrison JE, McNeill KG, Meema HE et al: Partial-body Calcium Measurements by in Vivo Neutron Activation Analysis: Comparisons with X-ray Photodensitometry Measurement of the Radius. *J Nucl Med* **15**: 929-934, 1974
 - 27) Mazess RB, Judy PF, Wilson CR et al: Progress in Clinical Use of Photon Absorptiometry of Metabolic Bone Diseases. "Clinical Aspect of Metabolic Bone Diseases." *Excerpta Medica Amsterdam*: 37-43, 1972

Summary

Fundamental and Clinical Studies on the Measurement of Bone Mineral Content with Bone Mineral Analyzer

Tadako KOUSAKA*, Itsuo YAMAMOTO**, Shigeharu DOKOU**, Masao FUKUNAGA**, Rikushi MORITA* and Kanji TORIZUKA***

**Central Clinical Radioisotope Division, Kyoto University Hospital, Kyoto*

***Department of Radiology, Kyoto University Hospital, Kyoto*

****Department of Nuclear Medicine, Kyoto University Hospital, Kyoto*

Fundamental and clinical studies on the measurement of bone mineral content (BMC) of the radius were performed by photon absorptiometry using ^{241}Am (60keV, $T_{1/2}$ 485 yrs) as a radiation source. Reproducibility of the method was determined as 2.3% of C.V. with an aluminum phantom and 4.3–4.8% of C.V. with normal human subjects. On the other hand, the reproducibility of the measurement of indices expressed as BMC divided by bone width (BMC/W) was found 1.8–2.3% of C. V. and the index was thought to be used for the repeated examinations like in follow up studies.

A highly significant correlation ($r=0.999$) was found between the measured BMC values and actual weights for standard amounts of hydroxyapatite or ashed bovine bone. The BMC values obtained by this method, however, were proved to

be 1.62 times higher than actual amounts of hydroxyapatite or ashed bovine bone.

This method was thought to be enough reliable for clinical use, in addition to its simple manipulation.

The BMC was measured in 541 cases with various diseased condition; hyperthyroidism, hyperparathyroidism, chronic renal failure, rheumatoid arthritis, muscular dystrophy and epilepsy on anticonvulsants. These clinical data indicate that the measurement of BMC provides important informations not only in investigating the pathophysiology of metabolic bone diseases but also in managing these patients with progressive demineralization of skeleton.

Key words: Bone mineral content, Photon absorptiometry, Metabolic bone diseases