

《研究速報》

ガンマ・カメラによる Dual Photon Absorptiometry 装置の開発

友光 達志* 福永 仁夫*
 永井 清久* 小野志磨人*
 村中 明* 森田 陸司*

大塚 信昭* 曾根 照喜*
 古川 高子* 柳元 真一*
 鳥塚 荘爾**

I. はじめに

現在、ガンマ線吸収測定法による骨塩定量法として、線源に ^{125}I を用いる single photon absorptiometry や、2つの異なったエネルギーの γ 線を放出する ^{153}Gd を線源に用いる dual photon absorptiometry (DPA) が行われている^{1,2)}。前者は橈骨を対象とするのに対し、後者は骨塩量の変化が著明な腰椎を測定できる利点がある。従来の DPA 装置はすべてスキャナ方式であるが、今回、ガンマ・カメラ方式による装置を開発し、基礎的検討を行ったので報告する。

II. 装置の概要

装置の概要は、Fig. 1 に示すように、検出器には NaI(Tl) シンチレータ(直径 12.7 cm, 厚さ 0.51 cm)と 19 本の光電子増倍管(直径 3.81 cm)を使用し、コリメータには X 線撮影用クロスグリッド(グリッド比 = 10:1, 焦点距離 55 cm)を用いた。装置の位置計算回路には抵抗マトリックスを使用し、線源と検出器間の距離は 55 cm とした。なお、カメラの有効視野は直径 8 cm と定めた。データ

収集および計算処理にはパーソナル・コンピュータ(NEC PC-9801F)を使用した。また、線源には ^{153}Gd 50 mCi を用いたが、NaI(Tl) シンチレータにおける光電ピークは 44 keV と 100 keV の位置に観察された。

III. DPA による骨塩該当量の計算法

DPA による骨塩該当量の計算法は、すでに報告されている方法に基づいた^{1,3)}。つまり、1 つの測定点における骨塩該当量 Mb (g/cm²) は

$$Mb = \frac{\mu s_2 \ln \frac{I_{01}}{I_1} - \mu s_1 \ln \frac{I_{02}}{I_2}}{\mu b_1 \mu s_2 - \mu b_2 \mu s_1}$$

で表される。ここで $I_{01}, I_1, \mu s_1, \mu b_1$ は 44 keV での、 $I_{02}, I_2, \mu s_2, \mu b_2$ は 100 keV でのおのおのの初期強度、透過後の強度、軟部組織の質量減弱係数および骨塩該当物質の質量減弱係数である。この 1 つの測定点の値である Mb を骨幅(bone width)の範囲で積算することにより、骨の横断面における骨塩該当量(bone mineral content, BMC)を求めることができる。つまり、

$$\begin{aligned} BMC (\text{g}/\text{cm}) &= \Delta x \times (1/2 Mb_1 + Mb_2 + \\ &\dots + Mb_{n-1} + 1/2 Mb_n) \end{aligned}$$

である。ここで、 Δx は各測定点の間隔であり、bone width = $\Delta x \times (n-1)$ である。

IV. DPA 装置の性能評価の方法

装置の性能については、検出器の基本性能(固有分解能、均一性と計数率特性)と DPA 装置の精度と確度、つまり BMC 計算値の精度と確度を

* 川崎医科大学核医学科

** 京都大学医学部放射線核医学科

受付: 60 年 12 月 23 日

最終稿受付: 61 年 2 月 21 日

別刷請求先: 倉敷市松島 577 (〒701-01)

川崎医科大学核医学科

友光達志

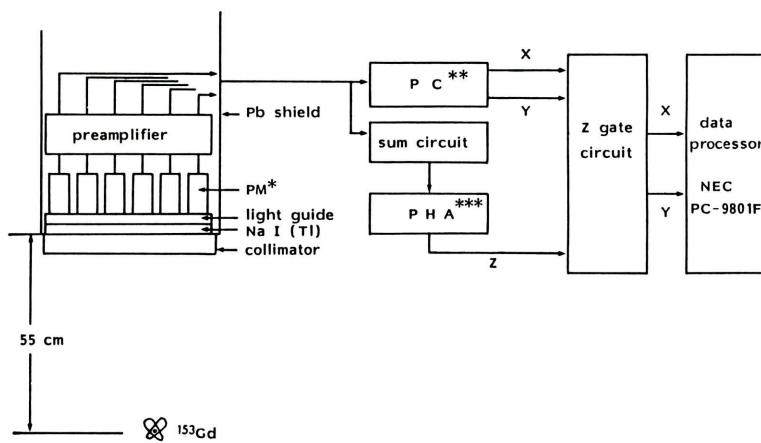


Fig. 1 Block diagram of DPA system using gamma camera.

*Photomultiplier, **Position Computer, ***Pulse Height Analyzer

検討した。また、計測時の被曝線量をも併せて測定した。

装置の固有分解能の検討は、0.35 mm のスリットを有する厚さ 10 mm の鉛を用い、4096 チャンネルのマルチ・チャンネル・アナライザ上の半値幅 (FWHM) にて評価した。均一性はコンピュータにより均一補正後、有効視野の 80% 領域について count 数の最大偏差を求めて比較した。 ^{153}Gd の計数率特性は吸収体として aluminum を用いて検討した。なお、固有分解能と計数率特性の検討の場合は装置本体の線源 (50 mCi) を、均一性の検討の場合は直径 3 mm の密封線源 (50 μCi) を使用した。

BMC 計算値の精度は、水ファントム (厚さ 28 cm) 内にブタ大腿骨を設置し、種々の計測時間 (3, 9, 15 分間) で 5 回繰り返しを行い、その変動係数 (CV) から判定した。

BMC 計算値の確度は、骨塩等価物質の密度との相関性から観察した。つまり、骨塩等価物質 (K_2HPO_4 溶液、密度 1.329) の 6 種の希釈溶液を内径 3 cm、長さ 20 cm のアクリル容器に封入し、これを水槽 (厚さ 28 cm) 中に入れて、9 分間計測した。このようにして得られた BMC 値をアクリル容器の断面積 (7.07 cm^2) で除した値、すなわち

単位面積当たりの BMC 値と溶液の密度との相関を求め、確度を検討した。

被曝線量の測定は TLD (ナショナル-UD-200S) を 10 本使用し、測定位置は水ファントム (厚さ 28 cm) の線源側表面とした。なお、線源-TLD 間距離は 27 cm であり、10 分間測定した。

V. DPA 装置の性能評価の結果

固有分解能の検討では、44 keV および 100 keV の FWHM はそれぞれ 9.2 mm と 5.5 mm であった。均一性の検討では、44 keV および 100 keV のカウントの最大偏差はそれぞれ $\pm 8.05\%$ と $\pm 3.71\%$ であった。また、計数率特性の検討では、計数率 25 Kcps 以下で直線性が得られた (Fig. 2)。

BMC 計算値の精度は、計測時間が 3 分では CV 8.93%，9 分では CV 1.58%，15 分では CV 1.22% であり、9 分以上の計測時間では精度は良好であった。

骨塩等価物質の単位面積当たりの BMC 計算値とその密度との関係を Fig. 3 に示す。両者の間には有意の正相関 ($r=0.988$, $p<0.001$, $N=6$) が観察され、確度が高いことが示された。

BMC 測定時の被曝線量は $16.31 \pm 4.45 \text{ mR}$ ($\text{mean} \pm \text{S.D.}, N=10$) であった。

VI. 考 察

ガンマ・カメラ方式による DPA 装置を開発し、基礎的検討を行った。従来のスキャナ方式による DPA 装置の問題点としては、1) 使用線源の ^{153}Gd

を大量 (1.5 Ci 程度) に要することや、2) 使用線源が少量であると計測時間が長くなる (30分) ことなどが挙げられる²⁾。上記の点について、カメラ方式による DPA 装置との比較を行った。

カメラ方式による DPA 装置の基本性能のうち、均一性は初期強度 I_0 を有効視野について一定の値を採用する場合問題となり、分解能は 44 keV と 100 keV の位置分解能の違いが問題となる。均一性は、本装置では I_0 を各点について求める方法を用いているので、計算値の精度に影響を及ぼさない。一方、位置分解能の違いが計算値に及ぼす影響については詳細が不明で、今後検討を加える必要があると考える。

また、計数率特性は BMC の計算を行うため、計数の数え落としのない範囲 (本装置で 25 Kcps 以下) を使用する必要がある。そして、数え落としのない最大計数率は、DPA 装置のように有効視野に対して均一強度で照射されている場合、視野の大きさに無関係にほぼ一定の値をとる。したがって、単位面積当たりの計数率は、カメラ方式より有効視野が大変小さいスキャナ方式の方が大きな値を獲得できる。しかも、この単位面積当たりに得られるカウント数は計算値の精度に大きく関与する。この点に関しては、カメラ方式は不利

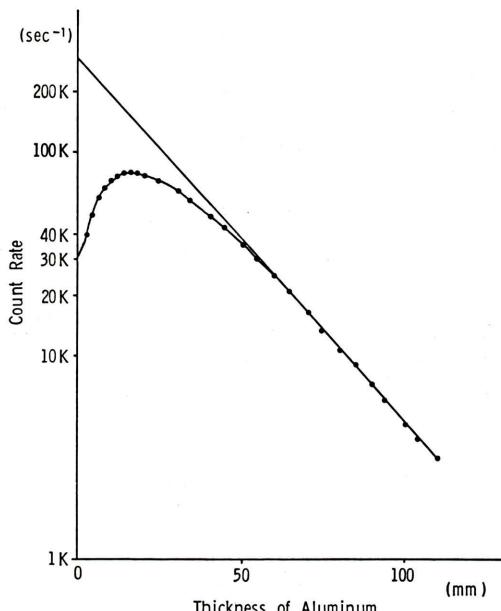


Fig. 2 Count rate performance of the DPA system.

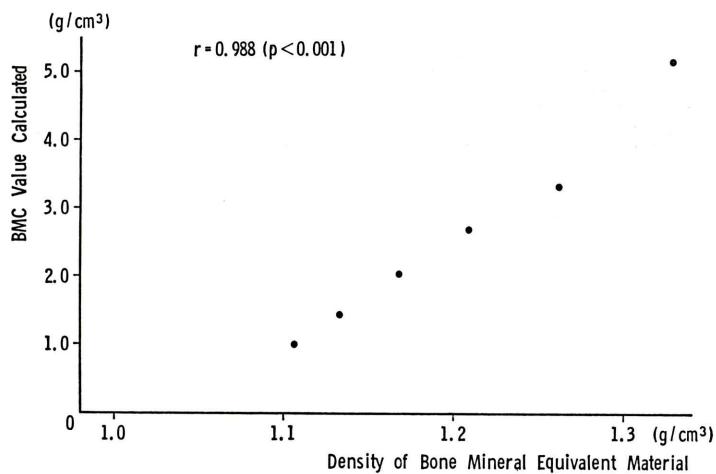


Fig. 3 Study for accuracy. Correlation between density of bone mineral equivalent material and BMC value calculated.

であるが、スキャナ方式もある程度の面積を測定するのにスキャンを繰り返す必要がある。これらを総合すると、理論上、同じ計算精度を得るための計測時間は、カメラ方式でもスキャナ方式でも差がないと推測される。しかし、カメラ方式では、¹⁵³Gd の放射能量を 50 mCi 程度装備すれば十分であるのに対し、スキャナ方式ではスキャン時間の短縮のため 0.5~1 Ci 程度の大量を要する欠点がある。

DPA 装置の精度としては、臨床上 5% の骨塩量の変化をとらえることが必須といわれている⁴⁾。したがって、日差変動などの測定誤差は 3% 以内に、装置自体に基因する誤差は 2% 以内に抑えることが望まれる。本装置の BMC 計算値精度は、9 分以上の計測時間では CV 2% 以内と良好であり、計測時間の面からみても臨床応用が可能かと思われた。

骨塩等価物質の種々の密度と単位面積当たりの BMC 計算値との間には良好な正相関性が得られ、BMC 計算値は密度の変化を忠実に反映していること、すなわち確度が高いことが示された。ここで理想的には、骨塩等価物質と単位面積当たりの BMC 値との関係は 1 対 1 に対応することが望ましい。しかし臨床では、測定部の骨の断面積、被検者の骨の質量減弱係数および密度を知ることはできない。このため BMC 値は、基本物質(今回は K₂HPO₄+KCl)の質量減弱係数と密度に対する相対値として求められている。これらのことから、基本物質の密度に対して BMC の値が相関を示せば、DPA 装置として十分機能をはたすものと考える。

また、1 回検査の被曝線量は低く、繰り返し検

査を施行できる利点が認められた。

VII. 結語

脊椎骨の骨塩定量のために、ガンマ・カメラ方式による DPA 装置を開発した。本装置は、線源として¹⁵³Gd を、検出器には NaI シンチレータを用い、19 本の光電子増倍管とコンピュータよりなっている。ブタ大腿骨を用いて検討した精度は、9 分以上の計測時間では CV は 2% 以内と良好であった。また、骨塩等価物質(K₂HPO₄ 溶液)を用いた確度の検討でも密度と BMC 計算値は高い相関性(r=0.988, p<0.001)が得られた。

ガンマ・カメラ方式による DPA 装置は、スキャナ方式に比して、使用する¹⁵³Gd の量は 10 分の 1 で済む利点が認められた。

このように、ガンマ・カメラ方式による DPA 装置は骨塩量を定量するのに有用な手段であり、今後広く施行されることが期待される。

本装置の開発において、多大なご援助と貴重なご助言を賜った中外製薬株式会社に深謝致します。

文 献

- 1) Cameron JR, Sorenson I: Measurement of bone mineral in vivo: An improved. Science 142: 230-236, 1963
- 2) Wahner HW, Dunn WL, Riggs BL: Assessment of bone mineral. Part 2. J Nucl Med 25: 1242-1253, 1984
- 3) Johnston CC Jr, Smith DM, Yu P-L, Deiss WP Jr: In vivo measurement of bone mass in the radius. Metabolism 17: 1140-1153, 1968
- 4) Cohn SH: Techniques for determining the efficacy of treatment of osteoporosis. Calcif Tissue Int 34: 433-438, 1982

Summary

Development of Instrument System of Dual Photon Absorptiometry Using a Gamma Camera

Tatsushi TOMOMITSU*, Masao FUKUNAGA*, Nobuaki OTSUKA*, Teruki SONE*, Kiyohisa NAGAI*, Shimato ONO*, Takako FURUKAWA*, Akira MURANAKA*, Shinichi YANAGIMOTO*, Rikushi MORITA* and Kanji TORIZUKA**

*Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School

**Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University

We have developed a new instrument system of dual photon absorptiometry using a gamma camera for the evaluation of bone mass in spine.

The system consisted of ^{153}Gd as an emitting source, NaI crystal, 19 photomultiplier tubes and a computer. The precision of the system at the measuring time of 9 and 15 min. in pig bone was found to be good (CV of less than 2%), and the accuracy in an experiment using a bone equivalent material (K_2HPO_4 solution) was also high ($r=0.988$, $p<0.001$). An advantage of the gamma

camera system over the scanning system was as follows; the amount of ^{153}Gd used in the gamma camera system was one tenth of that required for the scanning system.

Thus the dual photon absorptiometry using gamma camera could be thought to hold great promise as an investigative tool in quantifying bone mass.

Key words: Dual photon absorptiometry, ^{153}Gd , Bone mineral content, Gamma camera.