



|              |                                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 脊椎骨Phantomを併用したCT Scanによる第3腰椎海綿骨の骨塩量測定法                                             |
| Author(s)    | 福永, 仁夫; 大塚, 信昭; 曾根, 照喜 他                                                            |
| Citation     | 日本医学放射線学会雑誌. 1986, 46(5), p. 659-664                                                |
| Version Type | VoR                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/16346">https://hdl.handle.net/11094/16346</a> |
| rights       |                                                                                     |
| Note         |                                                                                     |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 脊椎骨 Phantom を併用した CT Scan による

### 第3腰椎海綿骨の骨塩量測定法

川崎医科大学核医学科

福永 仁夫    大塚 信昭    曾根 照喜

永井 清久    森田 陸司

同 放射線科

梶原 康正    西下 創一

（昭和60年8月23日受付）

（昭和60年12月2日最終原稿受付）

## Measurement of Bone Mineral Content in Trabecular Bone of the 3rd Lumbar Vertebra by Computed Tomography with Phantom for Spine

Masao Fukunaga, Nobuaki Otsuka, Teruki Sone, Kiyohisa Nagai, Rikushi Morita,  
Yasumasa Kajihara\* and Soichi Nishishita\*

Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School

\*Department of Radiology, Kawasaki Medical School

---

Research Code No. : 505.1

---

Key Words : Bone mineral content, CT scan, Phantom,  
Trabecular bone, Lumbar vertebra

---

In order to measure non-invasively bone mineral content in trabecular bone of the 3rd lumbar spine, CT densitometry simultaneously scanned with reference phantom ( $K_2HPO_4$  as standard) was done, and parameters in scanning were determined. Slice thickness was 10 mm. ROI was taken as large as possible, avoiding regions of cortex and basivertebral vein entrance. Standards in a phantom were arranged as in 0, 200, 150, 100 and 250 mg/cm<sup>3</sup> of  $K_2HPO_4$  solution.

The reproducibility was good in short-term repeated measurements, while slightly poor in long-term intervals. The bone mineral content in normal males tended to decrease with aging.

It was shown that this method was convenient and reproducible, as re-positioned accurately, in evaluating bone mass.

#### I. 緒 言

従来より、骨塩量を非侵襲的に定量する方法として、microdensitometry, photon absorptiometry (single 又は dual photon), CT scan 法 (single 又は dual energy), neutron activation analysis などが行われている<sup>1)~6)</sup>。これらの検査法のうち、全身の骨代謝状態を忠実に反映する骨、つまり脊椎骨の海綿骨を使用でき、しかも高感度で再現性

が良く、簡便で安価な検査法が望まれる。しかし、これらの条件を満足できる方法は少ない。

CT の断層像は、物質の吸収係数の分布を示すので、骨量の多少を知ることができると考えられる。また、近年、本邦での体部用 CT scanner の普及は目覚しく、数百台以上にのぼるといわれている。したがって、CT scanner を利用した骨塩の定量法が大いに期待される。ところが、CT scan

に用いられる管電圧は、日内、日差変動がみられること、被写体の寸法による変動や異なる装置間の相互比較が困難なことなど、CT 値による定量的評価には不適といわれている。これらの欠点を補うために、CT scan 施行時、 $K_2HPO_4$ の standard を内蔵した脊椎骨 Phantom を第3腰椎と共に scan し、各濃度の  $K_2HPO_4$  の CT 番号から第3腰椎海綿骨に相当する  $K_2HPO_4$  濃度を求める方法を開発し、本法の有用性について検討したので報告する。

## II. 対象と方法

### 1. 対象

健康成人男子（年齢23～50歳）14例を対象とした。

### 2. 方法

#### (1) Phantom

Phantom は、縦40cm、横25cm、厚さ4cmの acryl よりなり、上面は軽度凹を示し、直径2cmの円形の standard（種々の濃度の  $K_2HPO_4$ ）を注入するため、5本の円形の中空となっている（Fig. 1）。Phantom は被験者の腰椎下にくるように設置し、膝・股関節を屈曲位に保ち、腰椎の生理的弯曲をできるだけ少なくする。なお、Phantom の中央部が腰椎棘突起下にくるように置く。

#### (2) CT の撮像条件

使用装置は Delta 2020G を用い、120kVp, 50 mA, 4sec. で撮像した。条件は center 200, width 700, scan diameter 40cm に設定した。

#### (3) Phantom 同時撮像法による第3腰椎海綿骨の骨塩量の定量法

まず、腰椎部の scout view を得る。次いで、第3腰椎椎体の正中部、つまり血管溝を通る横断面を検査に用いる（Fig. 2）。この際、同時に Phantom の横断面をも得ることになる。10又は5mmの slice 幅にて scan し、第3腰椎海綿骨部及び Phantom の各 standard に ROI (region of interest) を設定する。その際、海綿骨部では、皮質骨や血管溝にかからない範囲で、できるだけ大きく ROI をとる。ROI 内の平均 CT 番号を算出する。Phantom の standard の  $K_2HPO_4$  濃度と CT 番号の関係から、standard curve を作成する（Fig. 3）。第3腰椎海

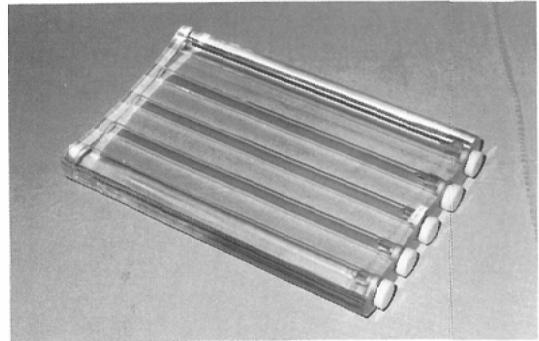


Fig. 1 Phantom for spine used in the present study.

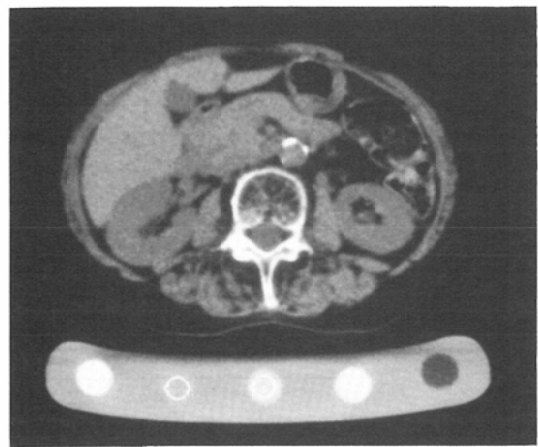


Fig. 2 CT scan of the 3rd lumbar spine and phantom.

綿骨の CT 番号を、この standard curve に当てはめて、相当する  $K_2HPO_4$  濃度を読み取る。

#### (4) Phantom の standard の $K_2HPO_4$ 濃度の決定

Standard の  $K_2HPO_4$  濃度を、0, 100, 200, 300, 400mg/cm<sup>3</sup>に配列した時と、0, 200, 150, 100, 250 mg/cm<sup>3</sup>に配列した時の第3腰椎海綿骨中の骨塩量を、健康男子例について比較した。

#### (5) Slice 幅の検討

Slice 幅の検討を、健康成人男子12例について行った。Slice 幅5または10mmで scan し、まず各人の骨塩量（mean±S.D.,  $K_2HPO_4$ mg/cm<sup>3</sup>）を求め、S.D./mean から各人の C.V. (%) を算出する。ついで、このようにして得られた12人の C.V. (%) について、さらに mean±S.D. を求めて、

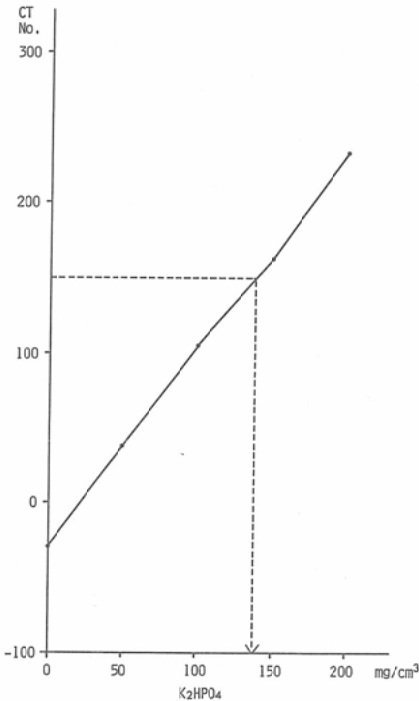


Fig. 3 Standard curve of CT No. and concentrations of  $K_2HPO_4$ .

#### Different Phantom

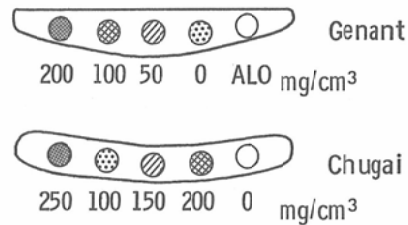


Fig. 4 Different 2 phantoms of Genant and Chugai (present study).

#### Different Standard

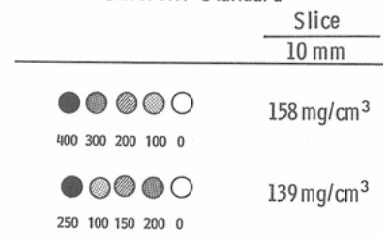


Fig. 5 Bone mineral content measured by 2 different standards.

Slice 幅 5 または 10mm の比較検討した。

#### (6) ROI の大きさの検討

ROI の大小による、骨塩量の変動を健康成人男子 3 例について検討した。ROI は、皮質骨や血管溝を含まない範囲でできるだけ大きくとった場合と、海綿骨上、任意に小さくとった場合とを比較した。

#### (7) Genant の Phantom との比較 (Fig. 4)

今回使用した Phantom (Chugai) と Genant<sup>7)</sup> の Phantom とを比較した。Genant の Phantom の standard は、0, 50, 100, 200 mg/cm³ の  $K_2HPO_4$  とアルコールよりなっている。両 Phantom を使用して、健康成人男子 7 例の骨塩量を測定し、その値を比較した。

#### (8) Reproducibility の検討

健康成人男子 1 例について、1 週間以内に 3 回測定し、その C.V. (%) を算出した。一方、健康成人男子 4 例については、4 カ月の間隔で、骨塩量を測定し、比較した。

#### (9) 健康成人男子例の骨塩量

健康成人男子 14 例の骨塩量を測定し、年齢との関係を検討した。

### III. 結 果

#### (1) Phantom の standard の $K_2HPO_4$ 濃度の決定

異なった standard の  $K_2HPO_4$  濃度で同一人の第 3 腰椎海綿骨の骨塩量を測定した際の結果を Fig. 5 に示す。400, 300, 200, 100, 0 mg/cm³ の standard を用いた場合は 158 mg/cm³ であり、250, 100, 150, 200, 0 mg/cm³ のそれを用いた場合は 139 mg/cm³ であった。以後の検討には後者 (250, 100, 150, 200, 0 mg/cm³) を使用した。

#### (2) Slice 幅の決定

健康成人男子の第 3 腰椎海綿骨の骨塩量を、Slice 幅 10 または 5mm にて測定した成績を Table 1 に示す。10mm の時の骨塩量は、 $150.1 \pm 19.9$  mg/cm³ であり、5mm のそれは  $147.6 \pm 19.9$  mg/cm³ を示した。また、12 名の骨塩量の変動は、10mm では C.V.  $1.8 \pm 1.2\%$  であるのに対し、5mm では C.V.  $2.8 \pm 1.4\%$  であった。このように、10mm で

Table 1 Determination of slice width in normal male. Comparative study of C.V. (%).

|             |    | Slice                           |                                 |
|-------------|----|---------------------------------|---------------------------------|
| N           |    | 10mm                            | 5mm                             |
| Normal Male | 12 | 150.1 ± 19.9 mg/cm <sup>3</sup> | 147.6 ± 19.9 mg/cm <sup>3</sup> |
| * CV (%)    |    | 1.8 ± 1.2                       | 2.8 ± 1.4                       |

\* mean ± S.D of each C.V. (%) of BMC in 12 subjects

Table 2 Relation between size of ROI and bone mineral content.

| Subject | ROI |                      |
|---------|-----|----------------------|
| A       | #1  | 1.34 cm <sup>2</sup> |
|         | 2   | 1.45                 |
|         | 3   | 5.29                 |
| B       | #1  | 1.40                 |
|         | 2   | 1.40                 |
|         | 3   | 7.42                 |
| C       | #1  | 0.99                 |
|         | 2   | 0.99                 |
|         | 3   | 4.65                 |

の C.V. 値の方が 5mm のそれよりも小さいので、以後の検討には Slice 幅 10mm を用いた。

### (3) ROI の大きさ

ROI の大小による、骨塩量の変動を Table 2 に示す。ROI を設定する部位や ROI の大きさにより、骨塩量は 4~17 mg/cm<sup>3</sup> の変動を示した。したがって、ROI の大きさは、皮質骨や血管溝を含まない範囲でできるだけ大きくとり、以後の検討に供した。

### (4) Genant の Phantom との比較

健常成人男子 7 例について、Genant の Phantom を用いて測定した骨塩量との比較の成績を Table 3 に示す。Genant の Phantom で測定した骨塩量は、Chugai の Phantom を用いて測定した値より、有意に低値であることが示された ( $p < 0.01$ )。

### (5) Reproducibility の検討

短期および長期の間隔で検討した再現性の結果を Table 4 に示す。短期間に繰り返し測定した場合の C.V. (%) は 1.5 であり、4 カ月後に再検した場合には、4 例中 2 例でその変動は大であった。

### (6) 健常成人男子例の骨塩量

Table 3 Comparative study of bone mineral content measured by different 2 phantoms.

#### Normal Subjects (N = 7)

|        |                  |
|--------|------------------|
| Genant | 100 (%)*         |
| Chugai | 103.9 ± 3.2 (%)* |

\*Genant vs. Chugai  $p < 0.01$

Table 4 Reproducibility of bone mineral content in short and long-term interval.

#### Reproducibility

##### 1. Short Term (Within 1 Week)

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| 155 mg/cm <sup>3</sup> |             |
| 155                    |             |
| 151                    |             |
| mean ± S.D             | 153.7 ± 2.3 |
| C.V. (%)               | 1.5 %       |

##### 2. Long Term (4 Months Interval)

| Subject       | 0                                  | 4 Mo.                            |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------|
| A             | 154 mg/cm <sup>3</sup><br>(101.3%) | 152 mg/cm <sup>3</sup><br>(100%) |
| B             | 122<br>(93.8)                      | 130<br>(100)                     |
| C             | 139<br>(103.0)                     | 135<br>(100)                     |
| D             | 145<br>(100.7)                     | 144<br>(100)                     |
| mean<br>± S.D | 99.7 (%)<br>± 4.1                  | 100 (%)                          |

健常成人男子例の骨塩量と年齢との関係を Fig. 6 に示す。骨塩量は 122~196 mg/cm<sup>3</sup> の範囲に分布した。また、加齢と共に減少する傾向が観察された。

## IV. 考 察

第3腰椎海綿骨の骨塩量測定に脊椎骨 Phantom を同時に撮像する CT scan 法を施行し、基礎的検討を行い、本法の標準的な parameter を決定した。Phantom の standard に用いる K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 濃度とその配列では、250, 100, 150, 200, 0 mg/cm<sup>3</sup> が適当と考えられた。その理由は、正常人の第3腰椎海綿骨の骨塩量は 100~200 mg/cm<sup>3</sup> であること、腰椎直下に第3腰椎海綿骨の骨塩量にほぼ等しい K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> を設置すれば比較が容易なこと、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> の高濃度 (300, 400 mg/cm<sup>3</sup>) は皮質骨の骨

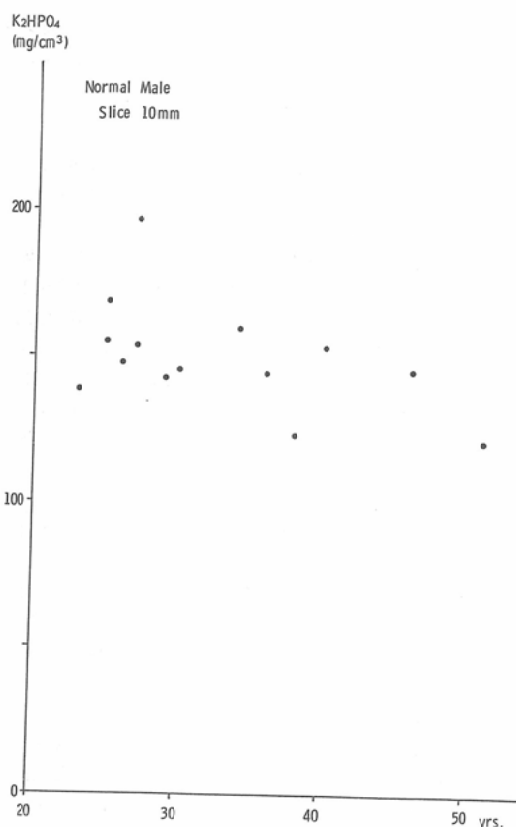


Fig. 6 Changes of bone mineral content of normal male as function of aging.

塩量測定には適しているが、海綿骨の場合には不  
用であり、かえって artifact を生じる原因となる  
ことなどに基づく。Slice 幅に関しては 10mm を  
選択した。これは正常人 12 例の検討より Slice 幅  
10mm の方が 5mm の時よりも測定値の変動が少  
なく、また海綿骨の変化をより正確に把握するに  
は或る程度の Slice 幅を要することから 10mm を  
選択した。ROI の大きさについては皮質骨や血管  
溝を含まない、できるだけ大きな ROI を使用し  
た。なぜならば、正常者でも海綿骨の分布は一様  
でなく、ROI の部位により相当に異なる (Table  
2)。したがって、海綿骨全体の骨変化を知るには、  
できるだけ大きく ROI を設定することが必要で  
あった。本法で使用了 Phantom (Chugai) と  
Genant の Phantom との比較では、Genant の  
Phantom を使用した場合、有意に骨塩量が低下す  
ることが示された。この両者での測定値の差違は、

使用した Phantom の形状や standard の K<sub>2</sub>  
HPO<sub>4</sub> の濃度・配列に基因すると思われる。つま  
り、Chugai の Phantom は上面が凹であり、K<sub>2</sub>  
HPO<sub>4</sub> の standard と Phantom 上面または下面と  
の距離が一定であった。一方 Genant の Phantom  
は上面は水平面であり、standard と Phantom 上  
面または下面との距離は、中心部で最も大であり、  
両端に近づく程小であった。これら、Phantom の  
形状の違いの他、standard の K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 濃度や配列  
の違いも、測定値に影響を与えたものと思われる。  
これらの差違は CT scan 上、CT 値に微妙な変化  
を生じる可能性がある。同じ形状の Phantom  
を使用し、standard の K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> も同じ濃度でしか  
も同じように配列しなければ、得られた測定値の  
施設間相互の比較は困難であろう。測定値の再現  
性の検討では、1 週以内に繰り返し測定した場合  
は良好であったが、4 カ月後に再検した場合、4  
例中 2 例で測定値の再現性はやや不良であった。  
この原因とし、被検体や standard の変化が考え  
られる。standard を長期間使用すると小さな空泡  
が生じることが認められるが、他の 2 例はほぼ良  
好な再現性を示したことより、その可能性は少な  
いものと考えられる。一方、被検体の方の問題点  
として、CT scan 時の再現性の良い positioning  
や腸内ガスの多少が考えられる。事実、Table 4 の  
B 症例では腸内ガスの多少が 2 回の測定値に影響  
を与えたのではないかと推測される。

以上のように、standard の K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 濃度および  
配列を、250, 100, 150, 200, 0mg/cm<sup>3</sup> に設定し、  
Slice 幅を 10mm にとり、ROI を皮質骨や血管溝  
を含まない範囲でできるだけ大きくとることを、  
本法の標準的な撮像条件とした。骨塩量の減少は、  
全身のどの骨も一様に生じるのではなく、脊椎量  
での減少が著しいといわれている<sup>9)</sup>。現在まで、骨  
塩量の定量法として種々の非侵襲的な方法が知ら  
れているが、感度、再現性、簡便さ、装置の安価  
なことなどの条件をすべて満足できる方法は少な  
い。その点、今回著者らが検討した CT 用脊椎骨  
Phantom を第 3 腰椎と共に scan し、その海綿骨  
の骨塩量を求める方法は、基礎的検討から、これ  
らの条件をほぼ満たすことが示された。つまり、

骨塩量の微妙な変化を知ることができる第3腰椎を対象に用いられること、短期間の再検では、再現性が良好であること、検査時間は10分程度と短く、日常業務に支障が少なく施行できること、既存のCT装置が利用でき、使用するPhantomは比較的安価であることなどであった。したがって、本法は骨塩量の減少を早期に知ることができると共に治療に対する骨量の変動をも検することができることと期待される。本法の問題点としては、X線のエネルギー分布が連続なため、beam hardeningにより被検体の大きさや位置に依存性がみられること、artifactが生じることや比較的被曝線量の太なることなどである。これらの問題点に対しては、被検体の正確な positioning、腸内ガスの有無をチェックすること、造影剤の残留が認められる際には検査日を変更するとか、正確に第3腰椎の正中部をscanすることなどの注意が必要であろう。これらの点を十分に考慮し、本法を施行すれば十分有用な情報が得られ、今後広く普及することが大いに望まれる。

#### V. 結 論

脊椎骨 Phantom を併用したCT scanにより、第3腰椎海綿骨の骨塩濃度の測定を試みた。Slice幅10mmでscanし、ROIは皮質骨や血管溝を含まない範囲で広くとり、Phantom中のstandardの $K_2HPO_4$ 濃度に相当する値を算出した。健常成人男子例では加齢と共に骨塩量は減少する傾向が認められた。被検体を正確に positioningすれば再現性も良好であり、本法は今後広く施行されることが期待される。

本法で使用した Phantom を提供して戴いた中外製薬株式会社および Genant の Phantom を御貸与戴いた神戸大学第3内科 藤田拓男先生に深謝致します。

#### 文 献

- 1) 井上哲郎, 山下源太郎: X線像による骨萎縮度判定の試み, 高橋栄明編: 骨形態計測, 105—118, 1981, 医歯薬出版, 東京
- 2) 山本逸雄, 土光茂治, 福永仁夫, 鳥塚莞爾, 高坂唯子, 森田陸司, 浜本 研: Bone Mineral Analyzer による骨塩定量, 核医学, 13: 759—767, 1976
- 3) Price, R.R., Wagner, J., Larsen, K., Patton, J. and Brill, A.B.: Regional and whole-body bone mineral content measurement with a rectilinear scanner. A.J.R., 126: 1277—1278, 1976
- 4) Revak, C.S.: Mineral content of cortical bone measured by computed tomography. J. Comput. Ass. Tomogr., 4: 342—350, 1980
- 5) 森田陸司, 向井孝夫, 福永仁夫, 滋野長平, 山本逸雄, 中野善久, 湊小太郎, 服部 昭, 鳥塚莞爾: コンピューター断層を用いた dual energy scanning による bone mineral content の測定. 骨代謝, 14: 122—127, 1981
- 6) Smith, M.A., Eastell, R., Kennedy, N.S.J., McIntosh, L.G., Simpson, J.D., Strong, J.A. and Tothill, P.: Measurement of spinal calcium by in vivo neutron activation analysis in osteoporosis. Clin. Phys. Physiol. Measurement, 2: 45—48, 1981
- 7) Genant, H.K., Cann, C.E., Ettinger, B., Gordan, G.S., Kolb, F.O., Reiser, U. and Arnaud, C.D.: Quantitative computed tomography for spinal mineral assessment: Current status. J. Comput. Ass. Tomogr., 9: 602—603, 1985
- 8) Wahner, H.W., Dunn, W.L. and Riggs, B.L.: Assessment of bone mineral. Part 2. J. Nucl. Med., 25: 1241—1253, 1984