

## 骨塩定量法の進歩と臨床応用

福永 仁夫, 友光 達志, 大塚 信昭, 今井 弘子\*, 三宅真理子\*\*,  
武田 直人\*\*, 片桐 誠\*\*\*

高齢化人口の増加とともに, 退行性疾患の一つである退行期骨粗鬆症は医学的のみならず社会的にも注目されている。骨粗鬆症に基づく骨折は, 「寝たきり老人」の原因として頻度が多いので, その診断や治療は重要である。骨の強度は硬度つまり骨塩量に専ら依存する。したがって, 骨粗鬆症による骨折の危険性を予知するには, 信頼性の高い骨塩定量法を用いることが必要である。本稿では, 川崎医科大学 放射線(核医学)で施行している骨塩定量法の概要, 基本性能, 特徴, 臨床応用および将来展望について概説する。本稿がより良い骨粗鬆症診療の一助として利用されることが期待される。

(平成6年1月20日採用)

### Progress and Clinical Application of Bone Mineral Quantifying Methods

Masao Fukunaga, Tatsushi Tomomitsu, Nobuaki Otsuka,  
Hiroko Imai\*, Mariko Miyake\*\*, Naoto Takeda\*\* and  
Makoto Katagiri\*\*\*

With an increasing elderly population, involutional osteoporosis, a degenerative disorder, has become of major interest not only medically but also socially. As fractures due to osteoporosis are frequent in incidence as a cause of bedridden elderly, their diagnosis and treatment are important. The strength of bone is exclusively dependent on consistency; that is, bone mineral. Therefore, to predict the risk of fracture due to osteoporosis, it is essential to use a reliable bone mineral quantifying method. In this paper, an outline of such methods, their fundamental characteristics, clinical application and future trends for these methods as used in the Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School, were reviewed. We hope that this article will be used in improving the diagnostic reliability of osteoporosis. (Accepted on January 20, 1994) *Kawasaki Igakkaishi 20 Suppl: 17-24, 1994*

**Key Words** ① Bone mineral quantifying method ② Bone mineral density  
③ Dual-energy X-ray absorptiometry  
④ Involutional osteoporosis ⑤ Bone metabolic marker

川崎医科大学 放射線(核医学)  
〒701-01 倉敷市松島577

\* 同 整形外科

\*\* 同 保健医療

\*\*\* 同 外科内分泌部門

Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School:  
577 Matsushima, Kurashiki, Okayama, 701-01 Japan

Department of Orthopedic Surgery

Department of Primary Health Care and Preventive Medicine

Division of Endocrine Surgery, Department of Surgery

## はじめに

近年、本邦では高齢化社会の到来とともに加齢に伴う退行性疾患の対策が急務となっている。これは骨の分野でも同様であり、骨の退行性疾患の一つである骨粗鬆症は、その頻度が増加し2000年には1,000万人が罹患すると予測される。骨粗鬆症による大腿骨頸部骨折は、「寝たきり老人」の原因として脳血管障害に次いで多いため、その予防や治療は医学的のみならず、社会的にも強く要請されている。骨折がし易いかどうか、換言すれば骨の強度は、①骨塩量で規定される骨の硬度、②骨梁の三次元構造により決定される骨質と③骨の弾性に依存する。特に、骨塩量の多少は強度の80%を支配するといわれる。したがって、骨粗鬆症に基づく骨折の危険性を予知するには、信頼性のある骨塩定量法の導入が必須である。本稿では川崎医科大学放射線(核医学)において施行されている骨塩定量法の現状と臨床応用について概説する。

### 骨塩定量法の概要

現在本邦で行われている骨塩定量法のうち、microdensitometry (MD)、単一光子吸収測定法(SPA)および二重光子吸収測定法(DPA)は、引き続き開発された測定精度の良好な方法や解析法に移行し、現在当科では行っていない。

骨塩定量法は、測定原理から(1) Photodensitometry、(2) 光子吸収測定法、(3) CTを利用した方法(QCT)と(4)超音波を利用した方法(QUS)に分類される。photodensitometryは、撮影されたX線フィルム上の骨陰影の濃度を濃度計を用いて測定する方法である<sup>1)</sup>。光子吸収測定法(SPA、DPA、単一エネルギーX線吸収測定法(SXA)や二重エネルギーX線吸収測定法(DXA))は、X線やガンマ線等の光子が物質を透過するとき、その物質に光子が吸収あるいは散乱されて減弱することを利用している。

減弱の割合は光子が透過する物質の質量減弱係数、密度と厚さによって決定されるので、物質に入射した光子強度と透過した後の光子強度を測定すれば質量減弱係数と密度が一定な物質の厚さを求めることができる。CT画像は物質の密度の分布を表すが、これを骨に適応したQCTではCT番号から骨の密度を求めることができる。画像診断用の超音波装置は3~5 MHzの周波数を使用するのに対して、現在骨塩量に用いられる超音波は0.1~2 MHzの低周波数成分を多く、しかも広帯域に含んでいる。この低周波超音波は海綿骨を透過できる。QUSでは超音波伝導速度(SOS)や超音波減衰係数(BUA)を求めることが可能で、骨塩量や骨質を知ることができる。

各骨塩定量法はそれぞれ測定できる骨が異なる。つまり、photodensitometryは第2中手骨、SPAは橈骨、SXAは踵骨、DPAは腰椎、大腿骨頸部と全身骨、DXAは橈骨、腰椎、大腿骨頸部と全身骨、QCTは第3腰椎海綿骨、QUSは踵骨が主たる測定部位となる。全身の骨は海綿骨と皮質骨の比率は同一でなく、軀幹骨は海綿骨の割合が高く、他方末梢骨は皮質骨の割合が高い。なお、加齢に伴う骨量減少は海綿骨で、早期に著明に生じるといわれる。したがって、どの骨を測定部位にするかは、骨量減少を早期に検出する上で重要である。閉経後の急激な骨量減少は腰椎で早期に著明に生じるので、腰椎を測定部位に選択するのが妥当である。一方、70歳以上の高齢者では腰椎の変形、骨折や硬化性病変が少なからずみられる。したがって、腰椎を測定部位にすると骨塩量は過大評価される恐れがあるので、橈骨も測定部位にするのが望ましい。

骨塩定量法として具備すべき条件は、①測定精度が良好なこと、②被曝がないか、少ないこと、③簡便性に富むことなどである。測定精度つまり繰り返し測定の再現性は治療効果の判定や経過観察に関係し、測定精度が良好であると微妙な骨密度(BMD)の変化を有意として認識

し得る。測定精度は、測定部位にも依存するが、SXA, DXA や QUS は良好 (CV=1~2%) であるが、QCT は最も測定精度が劣る。QUS は当然の如く被曝のない検査法であり、光子吸収測定法は被曝線量は少ない。他方、QCT は最も被曝線量が多い。計測時間は、DXA, SXA や SPA が短い。photodensitometry は撮影自体は極めて短時間であるが、現像されたフィルムを解析するのに時間がかかる。QCT や DPA はデータ収集に比較的時間を要する<sup>2)</sup>。

### 各骨塩定量法の特徴

#### (1) photodensitometry

MD は極めて簡便な骨塩定量法であり、X線撮影装置と基準ファントム (アルミニウム・スロープやステップ) があればどの施設でも実施が可能である<sup>1)</sup>。したがって、MD は多数例を対象とした骨粗鬆症の集団検診など骨量減少のスクリーニング検査に適している。MD の欠点としては、①皮質骨が主体の第2中手骨を測定部位としているため、海綿骨が主体の腰椎の骨量減少を予知し難いこと、②連続スペクトルのX線を用いているので、ビーム・ハードニングが生じ、定量性にやや欠けること、③測定精度がやや劣ること (CV=3~5%)、④撮影されたX線フィルムを用いて骨塩量の指標の解析を行うが、それに時間がかかることなどが挙げられる。そこで、MD で使用されているフィルム濃度の検出を、microdensitometer から高解像度カメラや電荷結合素子に変更したDIP<sup>3)</sup>やCXD<sup>4)</sup>が開発された。これらの新しい解析方法により、解析時間は短縮し、測定精度も向上している。さらに、最近ではレーザー光線を用いた photodensitometry 装置の開発も進められている<sup>5)</sup>。

#### (2) SPA と DPA

光子吸収測定法の線源に放射性同位元素を用いる SPA<sup>6)</sup> と DPA<sup>7)</sup> は、X線とは異なり monochromatic なガンマ線を使用するため、定量性に優れている。SPA は橈骨などの末梢骨の骨

塩定量に、DPA は軀幹骨の骨塩定量に使用されていたが、①放射性同位元素を使用するために半減期を越えた場合、長期間安定したデータを得ることが困難で、線源を交換する必要があること、②X線に比して出射光子数が少なく、統計的誤差を減少させるには計測に長時間を要するなどの欠点が指摘されており、現在当科では行っていない。

#### (3) SXA

1994年に本科に導入されたSXAは、海綿骨が95%を占める踵骨を測定部位とする骨塩定量法である<sup>8)</sup>。SXAは測定精度が良好でしかも簡便であり、その測定値は骨粗鬆症の進行度や診断、骨折の危険性の予知に有用であるといわれる。

#### (4) DXA

DXAは種々の骨塩定量法のうち、最も基本性能が優れていることが知られている<sup>9),10)</sup>。つまり、DXAは①測定精度が良好なこと、②真の骨塩量値と比較して得られる測定の正確度がよいこと、③計測時間が短いこと、④被曝線量が少ないこと、⑤測定可能な部位が多岐に亘ることなど、他の骨塩定量法に比して優れており、現在骨塩定量法の主流となっている。DXA装置のうち、末梢骨専用の装置も開発され、橈骨などの骨塩定量に供されている<sup>11),12)</sup>。

さらに、DXAは装置の改良が加えられ、従来の pencil beam で単一の検出器型から、fan beam で多検出器型の装置が開発されている<sup>13)</sup>。これらの方式の採用により、計測時間は飛躍的に短縮した。通常腰椎の骨塩定量は、前後方向からのデータ収集により行われるが、①海綿骨が主体の椎体のほか、皮質骨が主体の突起や関節の後方成分も併せて測定されることや②高齢者では腹部大動脈の石灰化をきたす例が多く、腰椎と重なり BMD が過大評価される可能性がある。そこで、側方向からのデータ収集を行い、椎体だけの骨塩定量を行う試みがなされている<sup>14)</sup>。椎体だけの骨塩定量は魅力的であるが、測定部位である側臥位の位置付けの再現性が不良であることや、前後方向からのデータ収集に比して光子が通過する距離が長く、散乱や吸収の影響

をより大きく受けるために統計的誤差が増加し、測定精度が不良であるといわれる。そこで、これらの欠点を補うために、Cアーム方式を採用し、被検者を仰臥位のままで側方向に線源と検出器を移動させてデータ収集を行うDXA装置が開発されている<sup>15)</sup>。この新しいDXA装置では腰椎側方向からの測定精度が著明に改善した。

また、全身用DXA装置は全身および局所の脂肪率を求めることも可能であり<sup>16)</sup>、脂肪代謝の異常疾患への応用が期待される。なお、現在種々のDXA装置が市販されているが、各機種毎に得られるBMD値が異なる。これは骨塩量値を決定する標準物質の違いや、BMD値の算出に必要な骨幅の決定方法が異なるためである。したがって、異なる機種間でBMD値を比較する場合、校正式による換算が必要となる<sup>17)</sup>。今後、DXA機種間のBMD値の統一が望まれる。

#### (5) QCT

X線CTの横断層像は、各voxel当たりの吸収係数の分布を表す。骨についても同様であり、骨密度の多少と骨梁の分布状態を反映して画像が形成されている。X線CTで得られるCT番号は目的物質と水の吸収係数から求められる値であり、骨密度の多少をCT番号から知ることができる。しかし、CT番号は、①撮影条件、②被写体の大きさ、③視野内の均一性、④エッジ効果、⑤アーチファクトなどに影響されるので、これらの補正を行う必要がある<sup>18)</sup>。そこで、CT施行時に種々の濃度の骨塩等価物質を内蔵したファントムを目的部位の骨とともにスキャンし、CT番号から検査対象の骨に相当する骨塩等価物質濃度を求める方法つまりQCTが開発された<sup>19)</sup>。QCTの利点は、①新しく装置を導入することなく、既存のX線CTスキャナーを利用できること、②測定部位として、脊椎骨または軀幹骨の選択が可能なこと、③骨梁の三次元分布を知ることができること、④海綿骨と皮質骨の骨密度を分離して求めることが可能なこと、⑤他の骨塩定量法が単位長さあるいは単位面積当たりの骨塩量を求めるのに対して、QCTは単位体積当たりの骨密度が得られることなどであ

る。一方、QCTの短所としては、①測定精度が劣ること、②被曝線量が大いこと、③単一エネルギーでスキャンを行う通常のQCTでは骨髄脂肪の影響を受けることなどが挙げられる。そこで、骨髄脂肪の影響を除外するために、2つの異なるエネルギーのX線でスキャンを行う方法が試みられている<sup>20)</sup>が、操作が煩雑であり、被曝線量がより多くなる欠点があるので、本邦では普及していない。

近年、QCTを橈骨などの末梢骨(peripheral)の骨塩定量に応用したpQCTと呼ばれる方法が開発されている<sup>21)</sup>。pQCTは測定精度の良好な骨塩定量法であり、またスライス幅が小さいので、骨梁分布状態を定量化できれば骨質の評価が可能になるものと期待される。なお、我々はCTの拡大画像を用いて第3腰椎海綿骨部のスペクトル解析を行い、骨梁分布の定量化を試みている<sup>22)</sup>。

#### (6) QUS

QUSは、骨硬度のみならず骨梁の三次元分布により決定される骨質も知ることができる方法である<sup>23)</sup>。踵骨が測定部位であるが、QUSで得られる超音波速度(SOS)と広帯域超音波減衰係数(BUA)の2つの指標は腰椎BMDと $r = 0.6 \sim 0.7$ 程度の相関を示すので、QUSはある程度腰椎BMDの多少を推定することが可能である。さらに、QUSは、被曝がなく、装置の持ち運びが簡単である。このため、QUSは骨粗鬆症の検診への使用が期待される。

### 骨塩定量法の臨床応用

#### (1) 退行期骨粗鬆症

骨粗鬆症は、骨塩量の低下と骨梁構造の変化により、骨の脆弱性が亢進した全身性の骨疾患と定義される<sup>24)</sup>。したがって、骨粗鬆症の診断には骨量減少の存在を証明することが必要である。そのためには、健常日本人の性別および年齢別の骨塩量の基準値の設定が必要である<sup>25)</sup>。骨粗鬆症の臨床で問題となるのは、骨量減少のレベルをBMD値から如何に定義するかである。

通常、①若年期の最大骨量から2~2.5SDあるいは20%低い値、②骨折者の90%を含む上限値(90th percentile)、③性と年齢を一致させた正常者の平均値と比較したZスコアなどが用いられるが、どのBMD値を採用するかについては現在同意が得られていない。しかし、最大骨量の-2SD以上の低値を示す症例には、生活指導など予防を考慮することが多い。また、最大骨量の-3SD以上の低値例には一般に治療が導入される。

骨粗鬆症は全身性の骨量減少を示す疾患であるが、年齢や性別によって骨量減少が発現する骨の部位が異なる。女性の場合、閉経後早期には腰椎BMDの低下が著明であり、橈骨は80歳以降にもBMDの低下が進行する<sup>26)</sup>。したがって、閉経後の急激な骨量減少を早期に検出するには腰椎を測定部位に選択するのが望ましい。他方、高齢者では腰椎BMDが退行性変化のため修飾される可能性があるため、橈骨も測定部位とするのが一般的である。いずれにしても、海綿骨が主体の骨と皮質骨が主体の骨の双方を測定部位とすべきであろう。

DXAによる骨塩定量の目的の一つは、骨粗鬆症の治療効果の判定に利用することである。そのためには、健常者の経時的なBMDの変化を知ることが必要である<sup>27)</sup>。BMDの変化率は、性別および年齢によって異なるので注意を要する。また、経時的なBMDの変化から、骨量減少率の大きいfast loserと小さいnormal loserとの鑑別が可能である。fast loserでは骨折の閾値に早く到達する可能性があるため、現時点でBMDが正常であっても予防の導入を考慮すべきであろう。骨粗鬆症の治療効果をDXAを用いて判定する場合、測定精度が関与する。つまり、測定精度が不良であるとBMDに大きな変化がないと有意とは言い難い。他方、測定精度が良好であると微妙なBMDの変化をも感度よく認識できる。さらに、骨粗鬆症の治療薬の効果はどの部位の骨でも同時期あるいは同程度に発現するとは限らない。たとえば、活性型ビタミンD剤である $1\alpha$  OHD<sub>3</sub>による老人性骨粗鬆症の治

療は、橈骨よりも腰椎でより早期に効果を示す<sup>28)</sup>。他方、フッ素は橈骨の骨量増加をきたすことが知られているので、治療効果の評価にも1部位だけでなく複数の部位の骨塩定量を行うべきである。

骨量減少に基づく骨折や腰背部痛は骨粗鬆症の特徴的な合併症として知られているが、これらの症状や徴候がみられない場合、患者の検出は困難である。そこで、最近骨塩定量による骨粗鬆症の検診が行われるようになった<sup>29)</sup>が、骨塩定量法のうち、MDとQUSは骨量減少のスクリーニング法として適していると思われる。

近年、骨形成や骨吸収を反映して血中あるいは尿中で増減する種々の骨代謝マーカーが同定され、その測定が試みられている。たとえば、骨形成マーカーとして骨由来アルカリフォスファターゼ、オステオカルシンやI型プロコラーゲンC末端プロペプチド(PICP)が、骨吸収のマーカーとしてヒドロキシプロリン、酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ(TRACP)、I型コラーゲン・テロペプチド(ICTP)、ピリジノリンやデオキシピリジノリンが臨床に供されている。骨塩量は過去の骨代謝状態を表すのに対して、骨代謝マーカーは現在生じている骨代謝状態を表す。したがって、骨粗鬆症の治療効果の評価や骨量減少の予知のほか、骨量減少が高代謝回転によるものか、低代謝回転によるものかの鑑別には、骨塩定量とともに骨代謝マーカーの測定を併せて行うことが必要であろう<sup>30)</sup>。

なお、退行期骨粗鬆症の危険因子たとえば不動、早期閉経や家族歴を有するものも、骨塩定量の対象となる。

## (2) 二次性骨粗鬆症

ステロイド・ホルモン投与<sup>31)</sup>、Cushing症候群、性腺機能低下症、卵巣全別、胃切除後<sup>32)</sup>、甲状腺機能亢進症、副甲状腺機能亢進症<sup>33)</sup>や糖尿病<sup>34)</sup>は、二次性骨粗鬆症の原因であるため、これら疾患や状態を呈する症例は骨塩定量の対象となる。ステロイド・ホルモン投与者では橈骨よりも腰椎の骨量減少が著明である<sup>31)</sup>。一方、副甲状腺機能亢進症では橈骨の骨量減少の程度

が著しい。このように、病因により、骨量減少がより強く生じる骨が異なる。

### (3) その他

悪性腫瘍の骨転移の治療効果<sup>35)</sup>や骨移植後の移植骨の生着の判定に、骨塩定量が有用な場合があることが知られている。

た。骨粗鬆症を初め骨塩量の変化をきたす疾患に骨塩定量を施行する場合、本稿がその一助となれば幸いである。

本研究の一部は、平成4年度川崎医科大学プロジェクト研究(4-808)助成金による。

## ま と め

骨塩定量法の概要、特徴と臨床応用を概説し

## 文 献

- 1) Inoue T, Kushida K, Miyamoto S, Sumi Y : Quantitative assessment of bone density on X-ray picture. J Jap Orthop Ass 57 : 1923—1936, 1983
- 2) 福永仁夫 : 整形外科診断学における各種計測法—骨塩量測定. Monthly Book 7 : 1—8, 1994
- 3) Hayashi Y, Yamamoto K, Fukunaga M, Ishibashi T, Takahashi K, Nishii Y : Assessment of bone mass by image analysis of metacarpal bone roentgenograms : A quantitative digital image processing (DIP) method. Radiation Med 8 : 173—178, 1990
- 4) 松本千鶴夫, 串田一博, 折茂 肇, 越川昭三, 白木正孝, 秋沢忠男, 井上哲郎, 戸川晴男 : 新しく開発した手部X線骨密度測定装置とその基本性能. 医学のあゆみ 156 : 741—742, 1991
- 5) 福永仁夫, 大塚信昭, 板谷道信 : レーザー光源を用いた photodensitometry 装置の開発. Innervision 9(7) : 38, 1994
- 6) 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
- 7) Morita R, Fukunaga M : Bone mineral density assessed by a dual photon absorptiometric system equipped with a gamma camera (DUALOMEX). In Bone Morphometry, ed. by Takahashi HE. Niigata, Nishimura Co. 1990, pp 410—415
- 8) 青山俊也, 伊藤 正, 加藤富三, 鈴木隆雄, 柴田 博, 河辺満彦, 原 一男, 赫 彰朗 : Single energy X-ray absorptiometry を用いた踵骨の骨密度測定に関する研究. 日本医放会誌 53 : 1188—1194, 1993
- 9) 福永仁夫, 友光達志, 森田陸司 : DEXA 法. 臨放 35 : 41—48, 1990
- 10) 今井弘子, 渡辺 良, 長谷川 徹, 友光達志, 福永仁夫, 大塚信昭 : 軀幹骨の骨塩定量用 Dual energy X-ray absorptiometry 装置の基本性能の検討. 川崎医会誌 17 : 351—356, 1991
- 11) 友光達志, 福永仁夫, 大塚信昭, 小野志磨人, 永井清久, 森田浩一, 古川高子, 村中 明, 柳元真一, 田部井俊明, 川村幸一, 森田陸司 : X線を用いた末梢骨を測定対象とする二重光子吸収測定装置による骨塩測定の臨床的有用性—単一光子吸収測定装置との比較—. Radioisotopes 37 : 521—524, 1988
- 12) 友光達志, 大塚信昭, 小野志磨人, 永井清久, 森田浩一, 三村浩朗, 柳元真一, 古川高子, 福永仁夫, 森田陸司 : Dual energy X-ray absorptiometry による尺骨骨塩量の測定. 川崎医会誌 15 : 493—498, 1989
- 13) Fukunaga M, Tomomitsu T, Ono S, Otsuka N, Nagai K, Morita K, Imai H, Miyake M, Katagiri M : Determination of vertebral bone mineral density with new dual energy X-ray absorptiometry using multiple detectors : Fundamental studies. Radiation Med 10 : 39—43, 1992
- 14) Fukunaga M, Tomomitsu T, Otsuka N, Ono S, Imai H, Morita R : Lateral scanning of the lumbar spine : Bone mineral density determination with dual energy X-ray absorptiometry. J Bone Miner Metab 9 (Suppl) : 115—117, 1991

- 15) Fukunaga M, Tomomitsu T, Ono S, Otsuka N, Nagai K, Morita K, Imai H, Miyake M, Katagiri M : Quantification of bone mineral in the lateral body and whole body skeleton with a newly developed dual energy X-ray absorptiometric system using a multiple-detector array. *Kawasaki Med J* 19 : 65-76, 1993
- 16) 河野祥二, 八木信一, 藤野光喜, 田中浩行, 守田哲朗, 友光達志, 福永仁夫 : 二重X線法 (Dual energy X-ray absorptiometry ; DEXA 法) による体脂肪率の検討—第1編健康成人での検討—. *日本小児栄養消化器会誌* 7 : 63-66, 1993
- 17) 福永仁夫, 友光達志, 大塚信昭 : 各種 DXA 装置での診断の標準化—骨塩定量値の換算式の作成. *新医療* 20(9) : 44-47, 1990
- 18) 福永仁夫, 森田陸司 : QCT による脊椎骨骨量計測. 「図説整形外科診断治療講座 8 骨粗鬆症」(山本吉蔵編) 東京, メジカルレビュー社. 1990, pp 100-111
- 19) 福永仁夫, 大塚信昭, 曾根照喜, 永井清久, 森田陸司, 梶原康正, 西下創一 : 脊椎骨 Phantom を併用した CT Scan による第3腰椎海绵骨の骨塩量測定法. *日本医放会誌* 46 : 659-664, 1986
- 20) 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
- 21) Rügsegger P : Quantitative computed tomography at peripheral measuring sites. *Ann Chir Gynecol* 77 : 204-207, 1988
- 22) 友光達志, 板谷道信, 福永仁夫 : 骨粗鬆症による骨折の予防 : 骨強度の解析. *医科学応用研究財団研究報告* 10 : 94-101, 1991
- 23) 武田直人, 三宅真理子, 唐井一成, 北昭一, 友光達志, 福永仁夫 : 低周波超音波による踵骨の骨強度の評価. *川崎医学会誌* 19 : 77-81, 1993
- 24) Consensus Development Conference : Diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. *Am J Med* 94 : 646-650, 1993
- 25) 福永仁夫 : 二重エネルギーX線吸収測定法による日本人の腰椎骨塩量の基準化に関する研究. *長寿科学総合研究 平成3年度研究報告 vol 2*, 東京, 長寿科学総合研究費中央事務局. 1992, pp 402-405
- 26) 福永仁夫, 森田陸司 : 骨量測定法の最近の進歩. *診断と治療* 78 : 2113-2118, 1990
- 27) 福永仁夫, 金田清志, 白木正孝, 武谷雄二, 水口弘司, 井上哲郎, 富田明夫, 藤田拓男, 山本吉蔵, 中村利孝, 折茂肇 : 正常日本人における腰椎骨塩量の経時的変化に関する研究. *長寿科学総合研究 平成4年度研究報告 vol 3*, 東京, 長寿科学総合研究費中央事務局. 1993, pp 163-166
- 28) 山根康彦, 片桐誠, 原田種一, 守本研二, 坂本武司, 小野志磨人, 福永仁夫, 森田陸司 : 老人性骨粗鬆症に対する $1\alpha$  OHD<sub>3</sub>の効果—Dual energy X-ray absorptiometry による腰椎骨塩量の定量—. *ホルモンと臨床* 38 : 793-798, 1990
- 29) 福永仁夫, 友光達志, 三宅真理子, 武田直人 : 腰椎骨量減少のスクリーニング : 特に microdensitometry と低周波超音波法による骨塩量の役割. 骨粗鬆症の早期発見のための検診手法の開発に関する研究事業報告 (その1), 東京, 骨粗鬆症財団. 1993, pp 26-33
- 30) 三宅真理子, 武田直人, 唐井一成, 北昭一, 友光達志, 福永仁夫 : 二重エネルギーX線吸収測定法により測定された骨塩量と骨吸収マーカーとの関係. *日骨形態誌* 3 : 87-93, 1993
- 31) 今井弘子 : 副腎皮質ホルモンと骨粗鬆症. *Current Therapy* 11 : 1101-1104, 1993
- 32) Inoue K, Shiomi K, Higashide S, Kan N, Nio Y, Tobe T, Shigeno C, Konishi J, Okumura H, Yamamuro T, Fukunaga M : Metabolic bone disease following gastrectomy : Assessment by dual energy X-ray absorptiometry. *Br J Surg* 79 : 321-324, 1992
- 33) Katagiri M, Fukunaga M, Tomomitsu T, Yoshikawa K, Yamane Y, Harada T : Measurement of radial and vertebral bone mineral density in patients with hyperparathyroidism using dual-energy X-ray absorptiometry. *Endocrine Surg* 7 : 439-442, 1990

- 34) 福永仁夫：糖尿病患者の骨塩量. *Clinical Calcium* 3 : 65—69, 1993
- 35) Tanaka H, Furukawa Y, Fukunaga K, Fukunaga M : Bone mineral density for patients with bone metastasis of prostate cancer : A preliminary report. *In Prostate Cancer and Bone Metastasis*, ed. by Karr JP, Yamanaka H. New York, Plenum Press. 1992, pp 217—231