

非骨折例を比較すると、骨折例は頸部幅とHALは長い傾向が認められた。したがって、大腿骨頸部骨折の危険性の予知には、BMDの他、頸部幅やHALも併せて考慮すべきであろう。

4. 骨梁構造の評価

骨塩定量法により骨硬度の評価が可能となったが、近年骨梁構造で規定される骨質の評価が骨強度を知る上で役立つといわれる。骨質の評価は、(1)QCT、(2)QUSと(3)MRIの手法を用いて行われている。QCTのうち、末梢骨用のpQCTは橈骨や脛骨の海綿骨が主体

の部位と皮質骨が主体の部位を分離して測定できるだけでなく、測定精度が極めて良好である特徴を有している。さらに、分解能が良好なため骨梁の分布状態の把握が比較的容易である。そのため、骨梁の分布状態を、フラクタル解析、run length法などの手法を用いて定量的に評価できれば、骨質を知ることができるものと思われる。今後、骨塩定量とともに骨質を併せて評価できれば、骨粗鬆症の合併症の一つである骨折の危険性をより正確に予知できるものと期待される。

*注 1996年末、本診断基準の改訂版が発表された。

参考文献

- 1) 折茂 肇, 中村哲郎: 老人性骨粗鬆症の予防および治療に関する総合的研究. 厚生省シルバーサイエンス研究, 昭和63年度研究報告, pp.81-82, シルバーサイエンス研究班事務局, 大府, (1989).
- 2) 折茂 肇: 骨粗鬆症の予防に関する総合的研究. 長寿科学総合研究報告vol.3, pp.122-124, 長寿科学総合研究費中央事務局, 東京, (1993).
- 3) Kanis JA, Melton LJ III, Christiansen C, et al.: The diagnosis of osteoporosis. J Bone Miner Res. 9(8), 1137-1141, (1994).
- 4) 折茂 肇, 杉岡洋一, 五来逸雄, 他: 原発性骨粗鬆症の診断基準. 日骨代謝誌, 13(3), 113-118, (1995).
- 5) 藤原佐枝子, 中村利孝, 福永仁夫, 他: 縦断的調査から求めた日本人女性の腰椎骨量の年齢による変化. 第14回日本骨代謝学会, 大阪, (1996).
- 6) 友光達志, 曾根照喜, 大塚信昭, 他: 橈骨骨密度基準値の設定. 第4回日本骨粗鬆症研究会, 浜松, (1995).
- 7) Sone T, Tomomitsu T, Miyake M, et al.: Age-related changes of vertebral height ratios and vertebral fracture. 18th Annual Meeting of American Society for Bone and Mineral Research, Seattle, (1996).
- 8) Nakamura T, Turner CH, Yoshikawa T, et al.: Do variations in hip geometry explain differences in hip fracture risk between Japanese and white Americans? J Bone. Miner. Res., 9(7): 1071-1076, (1994).

5. 踵骨骨測定の実用性

増田一孝・野間和夫・木田哲生・松尾 悟・大西英雄・濱津尚就
滋賀医科大学附属病院

1. はじめに

従来、骨密度測定には前腕骨、腰椎骨、全身骨が測定されてきたが、最近注目されている測定部位として踵骨がある。踵骨測定の利点は、

- 1) 形態的に踵骨は、足骨根の中でも一番下に位置しており体重の影響を最も受けやすい骨であり、骨粗鬆症による骨折のため、寝たきりとなることを防止するために注目されている大腿骨頸部と荷重において同様な条件を有していること。
- 2) 踵骨の構造は皮質骨に比較して表面積が圧倒的に大きく、皮質骨より骨の代謝状態を良く反映している海面骨90%以上で構成されている。このため骨粗鬆症で踵骨が障害を起こすことは考えられないが、骨折の起こりやすい橈骨遠位部、腰椎、大腿骨頸部などある程度海面骨を含む骨のモニタ骨として適している。
- 3) 測定上の変動因子として、腰椎などでは加齢による測定対象部位の変形および石灰化が避けられないが、踵骨はこの様な変動因子からの影響を受けにくい。
- 4) 測定上の利点として、踵骨は患者に無理をさせることなく簡単に固定できるため、長期間患者を観察する繰り返し測定においても再現性の高

い検査が可能なこと。

- 5) 超音波踵骨骨塩定量装置は医療法上の使用施設の構造基準の規制を受けることなく測定できる、である。

当施設では、踵骨骨塩定量検査法として広く普及しているX線を用いた踵骨測定・超音波を用いた踵骨測定を実施しているが、今後注目されていくであろうデジタル画像による骨塩定量測定装置を使用する機会を得たのでこれら3種類の測定法について装置の特徴・装置の校正方法・測定結果を中心に知見を加えて報告する。

2. X線を用いた骨塩定量測定について

2-1 装置の特徴について

当施設で使用している米国ダブメディカル社製のオステオアナライザ装置は、27.5keVの単波長のX線ビームを側方から照射して、踵骨を幅3mmで14スライス測定し、連続する9スライスの平均値の骨塩量を求め、その中の最低の値となる骨塩量を求め表示できるシステムである。

2-2 装置の校正方法について

装置の校正は既知の値を持つ専用ファントムを毎日始業前に測定することにより行う。最新の測定値が過去10回測定した3種類の骨密度の値の異なるファント

ムの平均値に対して最新の測定値の誤差が1%以内であることを確認し検査を実施することになる。5人の健康人で5週連続5回の測定を行い変動係数を算出した再現性テストでは、変動係数は0.22~1.2%、平均0.68%と極めて良好な値であった。

2-3 測定結果について

Fig.1に本装置で測定した踵骨骨密度の女性の年齢分布を示す。20歳台より踵骨の骨密度(BMD)の低下がはじまり、以後加齢とともに一定の割合で減少傾向が見られる。女性の場合男性に比較して40~50歳で減少傾向がより顕著となる結果が得られている。

Fig.2に示す踵骨BMDと全身骨骨密度の相関は $r=0.833$ であり、腰椎2~4の相関は $r=0.743$ 、であり下肢骨($r=0.905$)上肢骨($r=0.842$)の結果も得ることができた。

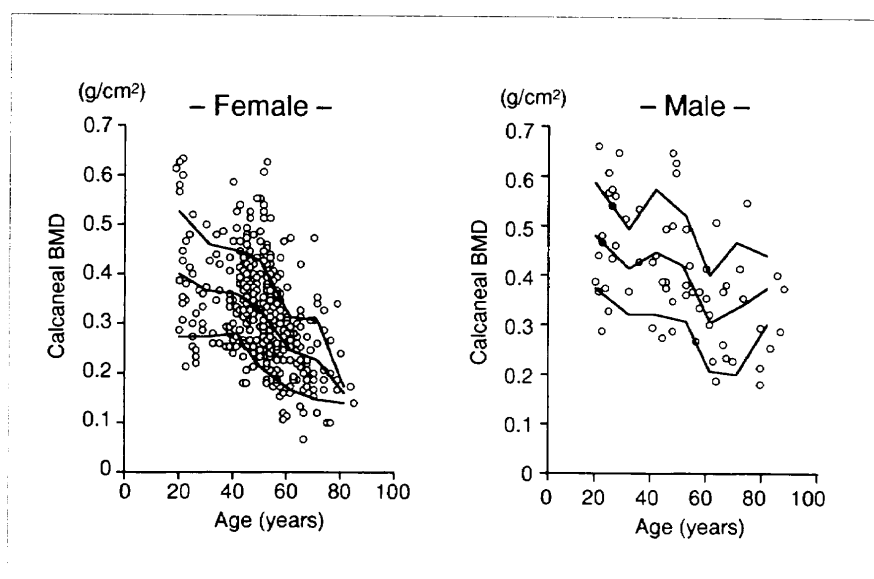


Fig. 1 Distribution of the calcaneal bone mineral density by age measured by the SXA method.

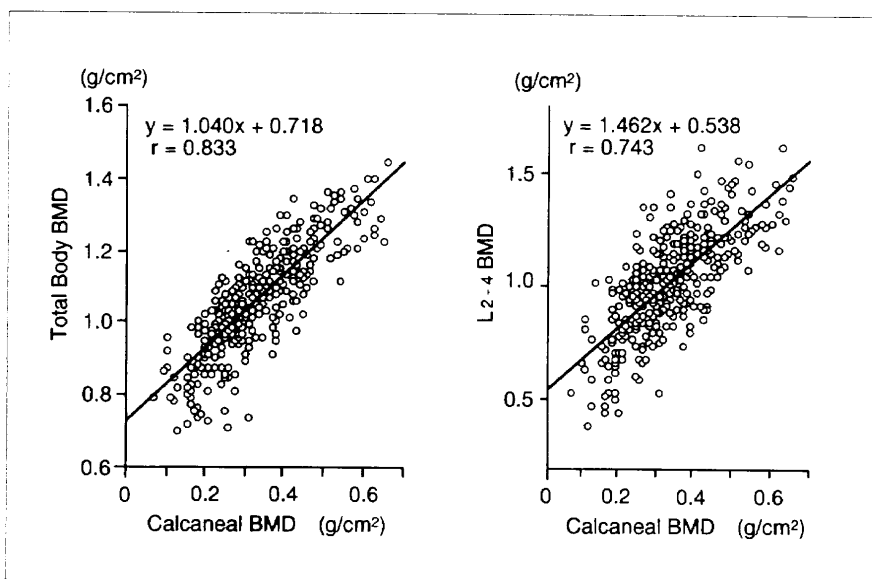


Fig. 2 Relationships of the calcaneal bone mineral density measured by the SXA method with systemic bone mineral density and lumbar vertebral bone mineral density.

3. 超音波を用いた骨塩定量測定について

3-1 装置の特徴について

超音波により測定できるのは、音波が骨を透過する時の伝播速度(speed of sound: SOS)および伝播減弱係数(broadband ultrasound attenuation: BUA)である。

当施設で使用している米国ルナー社製アキレス装置は、踵骨内の透過時間を計測するためにパルスの送信開始から受信までの時間を10MHzの周波数で作動する水晶発振子のパルス数をカウントすることにより求めるシステムである。超音波の1気圧における蒸留水内の伝播速度は

$$\text{伝播速度 (m/秒)} = 1403 + 5t - 0.06t^2 + 0.0003t^3$$

$$t: \text{水温 (}^{\circ}\text{C)}$$

また、伝播速度は下記の式に示すように骨組織で起こる変形に対しての応力、すなわちヤング率と物質の密度に密接に関係しているとされており、

$$\text{伝播速度} = (Y/d)^{1/2}$$

$$Y: \text{ヤング率 (N/m}^2\text{)}$$

$$d: \text{密度 (kg/m}^3\text{)}$$

骨密度が増えるに従いヤング率は高く検出されることになる。

もう一つの重要な測定指標であり、骨の総合的な骨の質、状態を測定する伝播減弱係数(BUA)は、超音波変換器にパルス電圧を加え広帯域(0.1~0.6 MHz)の超音波を発生させ、水のような減弱の弱い溶媒中を透過させて得られる周波数スペクトラムから骨透過後のスペクトラムを差し引き各周波数毎の減弱曲線を求め、この減弱曲線に対する回帰線の傾き(db/MHz)を骨質の総合的指標(BUA)とし求めて評価する方法である。

3-2 装置の校正方法について

本装置の再現性の検討では、5週連続の健康者の踵骨測定においてSOSの測定値の変動係数は0.1~0.8%、平均0.4%であり、BUAの変動係数は0.5~7.0%、平均4.0%の精度が得られた。

3-3 測定結果について

Fig.3, 4, に患者を対象として得られた測定結果を示す。これらの図からSOSおよびBUAは20歳台から低下が始まり、加齢とともに70歳台まで比較的均一な低下傾向となることが観察できる。また、踵骨SOSと他の部位のBMDの相関は、大腿骨頸部($r=0.691$)、全身骨($r=0.574$)の結果であった。

4. デジタル画像を用いた骨塩定量測定について

4-1 装置の特徴について

近年デジタル画像の普及には目ざましいものがある。いうまでもなくデジタル画像の特徴は画像処理が行えることが最大の利点といえる。この特徴を活かし開発されたのがCR-DEXA(富士写真フイルム株式会社製)である。測定原理としては、①骨塩量が既知であるファントムとともに被写体をエネルギーの異なるX線で2回曝射(120kVp, 46kVp)を行う。②得られた2枚の画像を演算処理することにより軟部組織を除去する。③既知のファントムの信号値から信号値対骨塩量を決定する。④測定部位の骨塩量を校正式を用いて変換するシステムが用いられている。

4-2 装置の校正方法について

実際の検査では骨塩量が既知のファントムと測定部位を同時に撮像することにより踵骨BMDを求めるが、ハイドロキシアパタイトで作成した骨塩量が0, 0.3, 0.6, 0.9g/cm²の骨塩ファントムの繰り返し測定の変動係数は0.83%であった。

4-3 測定結果について

骨粗鬆症患者について、当施設および琵琶湖養育院病院の施設において実施した22~84歳までの女性45名を対象に評価した。骨粗鬆症患者群の中で判別した基準以下の人数が含まれる割合を真陽性、健常人群の中

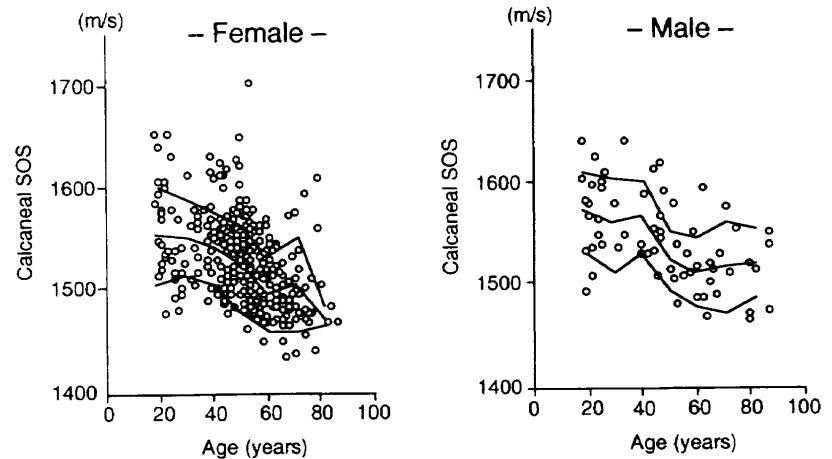


Fig. 3 Distribution of calcaneal SOS by age measured by the ultrasound method.

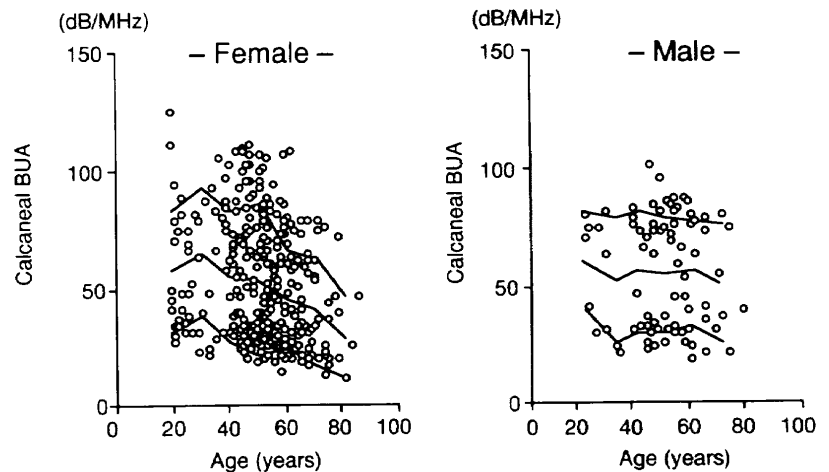


Fig. 4 Distribution of calcaneal BUA by age measured by the ultrasound method.

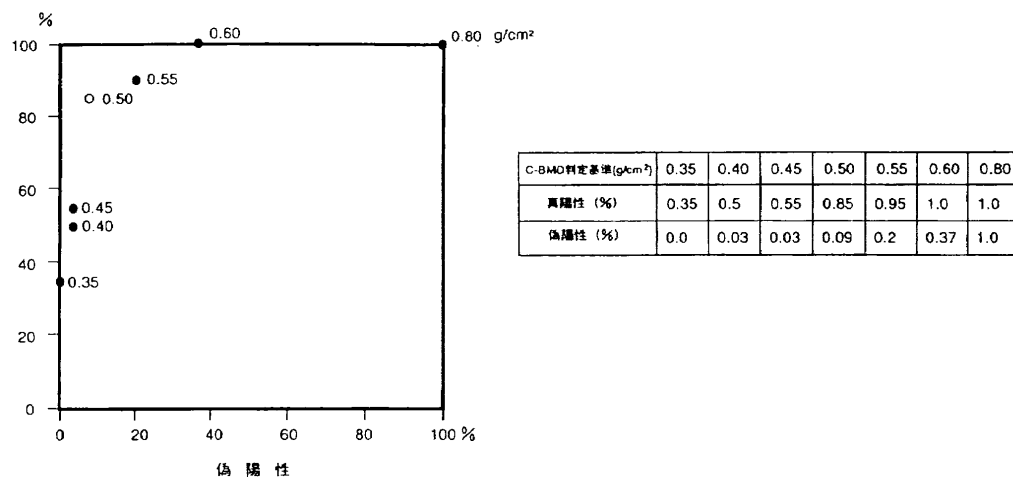


Fig. 5 Ability of calcaneal bone mineral density measurement and lumbar vertebral bone mineral density measurement by FCR to detect osteoporosis patients.

で判別した基準以下の人が含まれる割合を偽陽性としてそれぞれ縦軸と横軸にしたものをFig.5に示す。この結果腰椎BMDにによる骨粗鬆症患者の抽出能は踵骨BMD(C-BMD)判定基準を $0.5\text{g}/\text{cm}^2$ としたとき真陽性85%，偽陽性9%の結果が得られた。

5. 考 察

踵骨測定の目的は、踵骨そのものを対象とするものではなく、踵骨の組成、解剖学的な位置から骨粗鬆症の判定に重要となる腰椎、大腿骨頸部のモニタ骨となり得るかどうか重要となる。この目的からすればSXA法およびFCRによる踵骨BMD測定の変動係数は1%以内であり精度の高い測定が可能になる。Tableに示すように踵骨BMDと腰椎BMDおよび全身BMD間では高い相関があり、踵骨BMD測定は他部位のモニタ骨として有用な検査法と判断できる。

超音波検査法は設置について法的規制を受けないことから住民健診に用いられるなど数年の間に急速に普及してきたが、Tableに示すように当施設の検査結果からは、踵骨SOSおよびBUAと腰椎BMDおよび全身BMDの相関は踵骨BMDと他の骨の相関に比較してもかなり低い値を示しており、超音波を用いた踵骨測定法が他部位の骨のモニタとして有用であるとはいえない。しかし、超音波検査法は骨の弾性度など骨密度以外の重要な指標を示しているのではないかといった興味ある議論もされており、今後の検討が必要な検査法といえる。

FCR法は骨粗鬆症患者の抽出能に有用であるばかり

Table Relationships of various parameters of calcaneal bone mineral density with systemic and lumbar vertebral bone mineral density.

Calcaneus	Total body BMD	L24 BMD
BMD	0.833	0.743
Elastic index	0.757	0.661
volume BMD	0.758	0.664
SOS	0.618	0.542
BUA	0.522	0.476

だなく測定精度も高い水準にあると判断できた。現時点では残念なことにFCR法で測定できるのは踵骨測定のみであり、十分にFCRの特性が発揮できているとはいえない。デジタル画像は今後急速に発展することが予測され、画像の精密度と処理能力を生かし他部位の骨においても、形態診断を目的とした撮影と同時に骨の質的な診断が可能となるシステムに発展すれば、新たな骨形態評価の指標およびインフォームドコンセントの観点からも注目される測定法となることが予測できる。今後の開発が待たれる測定装置の一つである。

以上、踵骨測定の有用性について、当施設で使用した装置についてのみ述べたが、骨の代謝測定のために最も重要なことは機器の精度管理にあることはいうまでもない。

この稿を終えるにあたり、貴重な機会を与えていただいた学会長川上先生、大会長小室先生、座長の友光先生に深く感謝します。

参考文献

- 1) 福永仁夫, 友光達志, 森田陸司: DEXA法. 臨床放射線, **35**(1), 41-48, (1990).
- 2) 游 逸明, 森田陸司, 増田一孝: 腰椎骨塩量測定と脊椎骨折閾値. 日本医放会誌, **52**(2), 217-222, (1992).
- 3) 森田陸司, 福永仁夫, 友光達志: 骨ミネラル測定の臨床的意義. 日放技学誌, **46**(7), 903-910, (1990).
- 4) 游 逸明, 森田陸司, 増田一孝: SXA法による踵骨骨密度の有用性についての検討. 日骨形態誌, **3**(1), 127-131, (1993).