原著

dual energy x-ray absorptiometryによる
踵骨骨密度の診断的意義について河野 順・中田朋子¹⁾・伊東昌子²⁾論文受付
1998年10月26日論文受理
1999年5月13日

Code No. 884

長崎県済生会病院放射線科

1)長崎大学保健管理センター

2)長崎大学医学部放射線医学教室

1. 緒言

近年、骨粗鬆症による骨折が寝たきりの原因の上位にランクされている。骨粗鬆症の診断の目的で施行される骨密度測定法には多くの方法があり、測定部位にも躯幹骨と末梢骨、荷重骨と非荷重骨、海綿骨主体骨

と皮質骨主体骨がある。原発性骨粗鬆症の診断基準では腰椎骨密度(骨塩量)を用いて診断を行うことを原則としているが、腰椎には、加齢に伴う変形や圧迫骨折を起こしやすいなどの、骨密度を測定する上で問題となる症例があり、このような場合には、他の測定部位

Clinical Usefulness of Calcaneal Measurements Using Dual Energy X-ray Absorptiometry

JUN KOHNO・TOMOKO NAKATA¹⁾and MASAKO ITO²⁾

Department of Radiology, Nagasaki Saiseikai Hospital

1)Health Research Center, Nagasaki University

2)Department of Radiology, Nagasaki University School of Medicine

Received Oct. 26, 1998; Revision accepted May 13, 1999; Code No. 884

Summary

To investigate the clinical usefulness of calcaneal measurement using dual-energy x-ray absorptiometry (DXA), the ability to detect bone loss and fracture risk were evaluated in comparison with spinal bone mineral density (BMD) measured using DXA and quantitative CT (QCT) and with calcaneal quantitative ultrasound (QUS). Furthermore, to investigate the region in calcaneus in which to detect bone change sensitively, the ability to detect bone loss and fracture risk were also evaluated using new regions of interest (ROIs) that were manually defined. The subjects were 165 healthy women, and 188 female patients with fracture, estrogen deficiency, and steroid-induced osteoporosis. Calcaneal BMD with some manually defined ROIs showed lower precision and less sensitivity in detecting bone loss than BMD measured with automatically defined ROIs. Calcaneal DXA, spinal DXA, and QCT demonstrated significant age-related bone loss, and all measurements could discriminate fracture cases from non-fracture cases. Calcaneal DXA could discriminate the bone loss associated with estrogen deficiency as well as spinal DXA. Furthermore, calcaneal measurements showed a greater ability to detect steroid-induced bone loss than spinal DXA, probably because this group included subjects of advanced age with spondylosis. In conclusion, calcaneal DXA is useful to assess BMD in subjects who are not suitable for spinal measurement, although the ability to detect age-related bone loss in calcaneal DXA is less than in spinal measurements.

Key words: Calcaneus, Dual-energy x-ray absorptiometry, Quantitative ultrasound, Bone mineral density

別刷資料請求先: 〒850-0003

長崎県長崎市片淵 1-13-26

長崎県済生会病院 放射線科 河野 順 宛

の骨密度を適用することになっている¹⁾。このような変形や骨折が起こりにくく、しかも腰椎と同様に海綿骨を主体とした骨には、橈骨遠位部、大腿骨近位部、踵骨などがある。われわれは末梢骨ではあるが、荷重骨であり測定値の再現性もよいといわれている踵骨測定²⁾の診断的有用性を検討した。躯幹骨である腰椎の測定値と比較し、また踵骨測定法においてもdual-energy x-ray absorptiometry (DXA)法と超音波法を比較することで検討した。さらに踵骨は骨密度分布の不uniform性が知られているが³⁾、DXAでどの部分を測定するのが診断的感度に優れるかという点についても検討した。

2. 対象と方法

2-1 基礎的検討

2-1-1 踵骨骨密度の分布

健常ボランティア男性1名、女性4名(30~46歳：平均 37.8 ± 6.5 歳)を対象に、踵骨骨密度分布のみ評価を行う目的でquantitative computed tomography (QCT)を踵骨に適用した。

使用したX線CT装置はProSeed Accell (GE横河メディカルシステム株式会社製)であり、QCT用リファレンスファントムにはB-MAS200 (中外製薬株式会社製)を用いた。通常、QCTは脊椎を対象に行うが、同法を踵骨に適用する場合、被写体が小さいことによる被写体-ファントム間の空気の影響と、モーションアーチファクトが生じないように、踵骨を厚い発泡スチロールとタオルで固定した。そして、Fig.1aに示す足底に平行となるaxial像をスキャンし、Fig.1bに示す部分(面積 2.07cm^2 一定)のCT値を求め、リファレンスファントムから得られた検量線で単位体積当たりの骨密度(ハイドロキシアパタイト相当量 mg/cc)を算出し、その骨密度分布のバラツキを%CV(=標準偏差/平均値 $\times 100$ [%])で求めた。

2-1-2 踵骨DXAの再現性

踵骨DXA測定については、踵骨専用骨密度測定Heelscan DX-2000 (株式会社京都第一科学製)を用いた。その装置既存の自動設定re-

gion of interest (ROI)の3種類と、骨密度が低いと予想される部分に設定した手動設定ROIの3種類の再現性を検討するために、上記ボランティア男女5名と低骨密度者3名(61~62歳：平均 61.3 ± 0.6 歳)を加えた合計8名(30~62歳：平均 46.6 ± 13.1 歳)を対象に測定を行った。測定は毎回スキャンごとに足を固定する方法で連続5回測定し、各ROIごとの再現性を%CVで求めた。さらに、同一データに対してROI-4~6 (Fig.2)をそれぞれ5回ずつ解析し、手動設定ROIの再現性を%CVで求めた。以下にROI-1~6の詳細を記す (Fig.2)。

ROI-1(自動設定)：踵骨結節と踵骨隆起突起を結ぶ接線から後距骨関節後端に接する垂線を引き、これらの線に囲まれた踵骨後方要素の領域。

ROI-2(自動設定)：踵骨隆起の上端と後距骨関節後端を結ぶ接線から後距骨関節後端に接する垂線を引き、これらの線に囲まれた踵骨後方要素の領域。

ROI-3(自動設定)：踵骨隆起突起と踵骨隆起の上端を結ぶ線を引いて、次にそれに対し平行かつ後距骨関節後端に接する線を引き、これらの線に囲まれた踵骨

Fig. 1 Calcaneal bone mineral density (BMD) measured by QCT. A: Anterior, P: Posterior, M: Middle between A and P. 1: Head side, 3: Foot bottom side, 2: Middle between 1 and 3. (a) Slice location. (b) ROIs at axial CT image. (c) Areas of calcaneal bone for evaluation of BMD distribution.

Fig. 2 Individual ROIs for calcaneal DXA measurement.

部分の領域。

ROI-4(手動設定)：踵骨隆起突起と踵骨隆起の上端を結ぶ線に一角を接し、この線の中央部前方に位置する領域。

ROI-5(手動設定)：踵骨結節と踵骨隆起突起を結ぶ接線から引いた後距骨関節後端に接する垂線が中心を貫き、皮質骨部を含まず踵骨結節に最も近い所に位置する領域。

ROI-6(手動設定)：踵骨隆起突起と踵骨隆起の上端を結ぶ線が中心を貫き、この線の中央部に位置する領域。

ただし、ROI-4・5は面積1.53cm²、ROI-6は0.36cm²の矩形にした。

2-2 臨床的検討

健常ボランティアおよび検診受診者165名(22～86歳：平均52.3±11.7歳)を対照群とし、骨折既往患者40名(49～81歳：平均67.2±8.5歳、脊椎圧迫骨折32名・その他骨折8名)、エストロゲン欠乏患者20名(19～49歳：平均40.3±8.3歳、ホルモン補充などの治療を行っていない50歳以下の卵巣摘出術後・早期閉経・二次性無月経症など)、10年以上の長期ステロイド内服患者128名(21～73歳：平均47.9±14.1歳)を疾患群とした。以上の対象者はすべて女性である。骨密度測定はQCTによる腰椎海綿骨骨密度(以下、腰椎QCT)、DXAによる腰椎骨密度(以下、腰椎DXA)、踵骨骨密度(以下、踵骨DXA：ROI-1～5)、および超音波による踵骨Stiffness⁴⁾(Stiffnessとは超音波伝播速度SOSと

超音波減衰係数BUAから求めた計算上の値で骨硬度を表す指標である。以下、踵骨Stiff)測定を行った。用いた装置はSiemens社製：SOMATOM DR-H、Lunar社製：EXPERT EXP-5000、株式会社京都第一科学製：Heelscan DX-2000、Lunar社製：Achilles+である。このうち腰椎DXA、踵骨DXA、踵骨Stiffは対照群と疾患群で、腰椎QCTは対照群と骨折既往患者で施行した。得られた各種測定値から以下の比較検討を行った。

2-2-1 腰椎DXAと各種測定値の相関性(対照群)

腰椎DXAと腰椎QCT、踵骨Stiff、踵骨DXAとの相関係数を求めた。

2-2-2 各種測定値の加齢変化の比較(対照群)

40歳代と50歳代、50歳代と60歳代の側定値の有意差をStudent t 検定で求めた。

2-2-3 各種測定値による骨折検出能の比較(対照群と骨折既往患者)

年齢を一致させた群において、測定値が1SD下がったときの骨折リスクが何倍に変化するかをodds比として求めた。つまりodds比は、将来的にある事象が発生する確率と発生しない確率の比であり、それはロジスティック回帰分析を用いて算出した。

2-2-4 エストロゲン欠乏患者と対照群の測定値の比較

エストロゲン欠乏患者のZスコア(Z_{OF})と対照群のZスコア(Z_{CONT})を求め、両者の有意差をStudent t 検定で求めた。

2-2-5 長期ステロイド使用者と対照群の測定値の比較

長期ステロイド使用者のZスコア(Z_{PSL})と対照群のZスコア(Z_{CONT})を求め、両者の有意差をStudent t 検定で求めた。

2-2-4と2-2-5の検討は年齢で補正を行い、Zスコアとしている。

Table 1 Mean, standard deviation (SD), maximal value (MAX), minimal value (MIN), and coefficient of variation (%CV) of calcaneal QCT in individual subjects and in each ROI.

	Mean	SD	MAX	MIN	%CV [%]
46 F	106.1	55.2	191.1	4.0	52.0
43 F	117.8	51.9	203.3	34.7	44.1
35 F	163.1	51.5	248.6	81.9	31.6
35 M	163.2	40.3	218.2	103.4	24.7
30 F	113.0	53.5	212.6	28.1	47.4
P-1	202.5	27.4	244.4	176.0	13.5
P-2	187.7	34.8	224.2	143.0	18.5
P-3	176.8	31.5	212.4	135.0	17.8
M-1	122.2	36.6	164.4	74.8	30.0
M-2	116.1	34.1	160.2	74.2	29.4
M-3	117.6	27.9	149.5	84.9	23.7
A-1	86.7	43.7	136.3	28.1	54.1
A-2	111.4	30.4	144.7	81.9	27.3
A-3	81.2	35.7	114.2	43.8	44.0
All areas	133.7	57.1	244.4	28.1	42.7

unit: mg/cc

3. 結果

3-1 基礎的検討の結果

3-1-1 踵骨骨密度分布の確認

踵骨QCTの骨密度分布の%CVは24.7～52.0%であり、その分布はかなり不均一であった(Table 1)。さらに、踵骨をFig.1cで示すように前方部(A)・中央部(M)・後方部(P)に、また頭側部(1)・中央部(2)・足底側部(3)に分けて比較すると、前方部の骨密度は後方部より低く、頭側部の骨密度は足底側部より高かった。よって、最も骨密度が低い領域は前方かつ足底側部(A-3)で、最も高い領域は後方部かつ頭側部(P-1)であり、両者間には1.6～6.6倍の開きがあった。

3-1-2 踵骨DXAの各ROIの再現性

5回繰り返し測定による踵骨骨密度の変動率(%CV)は、ROI-1では0.63～1.59%、ROI-2では0.67～1.44%

Fig. 3 Correlation between spinal DXA and other measurements.

であり、ROI-1・2の測定値は安定していた。ROI-3は0.90～3.78%であり、個人間に大きなバラツキを示したが1例のみ3%を超えており、その他は2%未満で安定していた。今回設定した手動設定ROIのうちROI-4は0.99～2.61%で2%を超えるものが3例、ROI-5は0.91～3.09%で2%を超えるものが2例でありROI-4・5はバラツキが大きく、さらに、ROI-6は1.85～10.42%とかなり大きなバラツキを示した。また、手動設定ROI-4～6の解析の再現性はROI-4・5はいずれも1%未満で良好な結果であった。しかし、ROI-6は1.5%を超えるものがあり、ROI設定の再現性は不良であった。なお、以上の結果よりROI-6は臨床的検討には用い

なかった。

3-2 臨床的検討の結果

3-2-1 腰椎DXAと各種測定法との相関性

腰椎DXAと各測定値との相関係数を求めた。腰椎QCTとの相関係数は $r=0.72$ ($p<0.0001$)で最も高い相関性を示した。他の測定値とも有意の正の相関を示し、踵骨Stiffでは $r=0.43$ ($p<0.0001$)、踵骨自動設定ROI-1～3では $r=0.70\sim0.71$ ($p<0.0001$)、手動設定ROI-4では $r=0.48$ ($p<0.0001$)、ROI-5では $r=0.42$ ($p<0.0001$)であった。

Fig. 4 Age-related change in BMD with each measurement.

3-2-2 加齢変化

閉経周期期～閉経早期について測定値の加齢変化を年齢層間の比較でみた(Fig.4). 腰椎QCTは40歳代と50歳代間, 50歳代と60歳代間において高い有意差($p<0.0001$)を認め, 加齢に伴う骨減少が大きかった. ほぼ同様に腰椎DXAも40歳代と50歳代間($p<0.0005$)と, 50歳代と60歳代間($p<0.0001$)に高い有意差を示した. 踵骨Stiffは40歳代と50歳代間に軽度の有意差($p<0.01$)を示したのみであった. 自動設定のROI-1～3は40歳代と50歳代間に中程度($p<0.005$), 50歳代と60歳代間に軽度の有意差(ROI-1・2: $p<0.01$, ROI-3: $p<0.05$)を示した. 手動設定のうちROI-4は40歳代と50歳代間に中程度の有意差($p<0.005$)を示し, 50歳代と60歳代間に軽度の有意差($p<0.05$)を示した. ROI-5は50歳代と60歳代間に軽度の有意差($p<0.05$)を示したのみであった.

3-2-3 測定法・測定部位による骨折検出能の検討

年齢を一致させた群において骨折のodds比を求めた(Table 2). odds比(odds ratio: OR)は腰椎QCTが最も高くOR=14.6($p<0.0001$), 次いで腰椎DXAがOR=4.7($p<0.0001$), そして踵骨StiffがOR=2.7($p<0.0001$)であった. 踵骨DXAは自動設定ROI-1～3でOR=2.1～2.3($p<0.0001$), 手動設定ROI-4もOR=2.0($p<0.0001$)であり, 他の方法と比べるとodds比は低い有意な結果を得た. しかし踵骨の中で最も骨密度が低いと予想された部分に設定したROI-5では, OR=1.5($p<0.05$)であり, 軽度の有意差を示したのみであった.

3-2-4 エストロゲン欠乏群と対照群との比較

エストロゲン欠乏症例での測定値のZスコアと, 対照群のZスコアの平均値と標準偏差をTable 3に示す. 腰椎DXA($p<0.01$)と踵骨自動設定ROI-1～3($p<0.05$)が軽度の有意差を示し, 手動設定ROI-4・5と踵骨Stiffは有意差を認めなかった.

3-2-5 長期ステロイド使用群と対照群との比較

長期ステロイド使用群での測定値のZスコアと, 対照群のZスコアの平均値と標準偏差をTable 4に示す. 腰椎DXAでは有意差を認めなかった. 一方, 踵骨は自動設定ROI-1～3, 踵骨Stiffともに高い有意差($p<0.0001$)を, 手動設定ROI-4・5は軽度の有意差($p<0.01$)を示した.

4. 考 察

骨粗鬆症診断における骨密度測定の第一選択には腰椎骨密度が用いられている. その理由は腰椎測定, ことにDXAによる腰椎骨密度測定は, 再現性および感度のいずれにも優れているからである. しかしながら, 脊椎では圧迫骨折や変形性脊椎症のために正確な測定ができなくなることや, 大動脈の石灰化の存在で骨密度が過大評価されることがある. このように, 脊椎骨密度測定による評価が困難な場合には, 他の部位の骨密度を測定し診断に用いることが勧められている. なかでも踵骨は脊椎と同様に荷重骨で海綿骨が豊富であり, 変形や骨折の頻度が脊椎に比べてはるかに低く, しかも軟部組織が少ないため測定に適する部位と考えられる. しかしながら, 磁気共鳴画像MRIで観

Table 2 Results for age-adjusted odds ratios per 1SD decrease in BMD with upper and lower 95% confidence limits (CL).

	Odds ratio	+95% IC	-95% IC	p
Spinal QCT	14.6	30.1	7.1	0.0001
Spinal DXA	4.7	6.6	3.4	0.0001
Calcaneal Stiff	2.7	3.4	2.1	0.0001
ROI-1 BMD	2.2	2.7	1.9	0.0001
ROI-2 BMD	2.3	2.7	1.9	0.0001
ROI-3 BMD	2.1	2.5	1.8	0.0001
ROI-4 BMD	2.0	2.3	1.7	0.0001
ROI-5 BMD	1.5	1.8	1.2	0.05

察すると踵骨海綿骨は骨梁分布の不均一性が顕著な骨であること³⁾が知られている。そこで、われわれは踵骨内で骨密度変化を最も感度よく捉えることができる部位を検出し、臨床に応用できないかを検討した。診断能の比較のために超音波法も用いた。今回、踵骨骨密度測定に使用した装置は踵骨専用DXA装置である。参考までに踵骨骨密度測定装置には、DXA以外にsingle-energy x-ray absorptiometry (SXA) の装置も製品化されている。踵骨は腰椎や大腿骨頸部と違い軟部組織が少ないため、SXAでの測定が可能である⁵⁾。しかし再現性はDXAに比べるとやや悪く、約2%といわれている²⁾。本踵骨専用DXA装置(Heelscan DX-2000)固有の再現性は1%以内で、ポジショニングの影響も受け難い構造となっている。また、腰椎や大腿骨頸部を測定部位とする方法に比べて被曝線量が少ない。しかし、骨と軟部組織を分ける境界線の決定方法に対して詳しい情報は公開されておらず、検査時にも境界線の確認、補正ができないという問題点がある。

はじめに踵骨骨密度の不均一性を確認する目的で踵骨QCTを施行した。踵骨骨密度の分布の不均一性が確認でき、ROIを変化させることにより骨密度変化の検出能に感度差が生じる可能性があると考えられた。Fig.1cで示す踵骨上、踵骨骨密度は前方かつ足底側部が低く、踵骨後方かつ頭側部が高い傾向にあった(Table 1)。また、自動設定ROIは踵骨辺縁部の皮質骨部を含んで解析を行う。今回は感度の高い、海綿骨の比率をできる限り増やすため、Fig.2に示す踵骨後方に位置し骨端部と皮質骨部を除いた領域(ROI-4)と、ROI-4近傍でさらに面積を小さくした領域(ROI-6)を、そして踵骨骨密度が他の領域よりも低い前方かつ足底側部(ROI-5)にも新たに手動で関心領域(ROI-4~6)を設定した。

関心領域の検討では、自動設定ROI-1~3は感度、再現性ともに明瞭な差を認めなかった。ROI-1・2は設定時の基準点は異なるが、計測する領域はほぼ一致すると考えられる。また骨端部を含まないROI-3はROI-

Table 3 Comparison between the estrogen-deficiency group and its age-adjusted control group.

Measurements	Z-score (mean±SD)		p
	Control	Estrogen deficiency	
Spinal DXA	-0.001±0.980	-0.784±1.291	0.01
Calcaneal Stiff	0.002±0.977	-0.155±1.408	ns*
ROI-1	0.013±1.018	-0.700±1.427	0.05
ROI-2	-0.041±0.014	-0.747±1.457	0.05
ROI-3	-0.034±0.988	-0.665±1.262	0.05
ROI-4	-0.116±0.969	-0.663±1.798	ns*
ROI-5	-0.012±0.950	-0.382±1.437	ns*
n	58	20	
Age (mean±SD)	38.8±7.3	40.3±8.3	ns*

*Not significant

Table 4 Comparison between the long-term corticosteroid treatment group and its age-adjusted control group.

Measurements	Z-score (mean±SD)		p
	Control	Steroid induced osteoporosis	
Spinal DXA	0.002±0.979	-0.227±1.650	ns*
Calcaneal Stiff	0.007±0.975	-0.906±1.459	0.0001
ROI-1	-0.010±1.121	-0.701±1.539	0.0001
ROI-2	-0.014±1.005	-0.694±1.521	0.0001
ROI-3	-0.025±0.993	-0.704±1.554	0.0001
ROI-4	-0.015±0.998	-0.460±1.787	0.01
ROI-5	0.034±0.978	-0.484±1.579	0.01
n	165	128	
Age (mean±SD)	52.8±11.7	47.9±14.1	ns*

*Not significant

1・2に比べ骨密度値は低値を示し、再現性と加齢変化の検討ではROI-1・2に比べてやや劣った。しかし、その他の検討ではほぼ同様であり、実際に測定する場合、ROI-1~3いずれも明瞭な差はないと考えられた。ただし、継続して同じROIを使うことが測定値の信頼性をより保つと考える。それに対し手動設定ROIではROI-4・5で再現性のバラツキが大きく、ROI-6ではさらに大きかった。この原因として、ROIの面積が小さすぎたと考えられる。つまり、面積が小さいほど領域内の測定値の誤差が大きく、また設定位置のわずかなズレの影響を受けやすいという可能性がある。ROI-4・5はともに自動設定ROI-1~3に比べ骨密度は低値であったが、骨密度変化の感度がより優れるという結果は得られなかった。したがって、再現性良く、しかも感度に優れた関心領域を新たに見出すことはできなかった。骨密度測定法の目的の一つは骨折のリスクが高い症例を見つけ出すことであり、その目的にかなう測定法は臨床に貢献できる。そして、多数の測定法

の中からこの目的に適した測定法を検討することは重要なことである。踵骨は海綿骨が豊富で荷重を受ける部位であり、われわれの研究グループも脊椎海綿骨骨密度との相関が高く²⁾、踵骨DXA骨密度が骨折リスクの評価に有用であった⁷⁾ことを報告してきた。今回の骨折リスクの評価能に関しては、腰椎QCTが最も高い検出能を示した。また踵骨測定値もDXA⁶⁾、超音波測定法ともに有意の検出能を示した。今回の骨折症例は、骨粗鬆症に伴う骨折の中で最も頻度の高い脊椎圧迫骨折がほとんどであり、同部位を測定した腰椎QCT・DXAで著しく高い検出能を示した可能性もあり、それが原因で踵骨測定(DXA, Stiff)の骨折の検出能が、腰椎測定にやや劣る結果となったとも考えられる。しかし、診断基準となっている腰椎DXAとの相関性も高く、踵骨測定の有用性を確認することができた。

加齢に伴う骨量減少とエストロゲン欠乏に伴う骨量減少の検出能についても検討した。閉経周辺期である40～50歳代と閉経早期である50～60歳代の骨密度を比較しているが、腰椎測定値(QCT, DXA)と踵骨DXA(ROI-1～3)はその時期の骨減少を感度よく検出できたと考えられた。しかしながら、踵骨Stiffは40～50歳代間で軽度の有意差を認めたのみで、腰椎測定値(QCT, DXA)と踵骨DXA(ROI-1～3)に比べて検出能が低かった。またエストロゲン欠乏に伴う骨量減少に関しては、いずれの測定法も検出能があまり高くなかった。その理由としてはエストロゲン欠乏に対して早期に治療を開始することが多く、今回の検討でも治療開始まで短期間の症例がほとんどであったため、著明に骨減少が進行した症例が少なかったことによると思われる。ステロイド長期内服による骨量減少の検出能についても検討した。その結果、踵骨測定値は踵骨Stiff、踵骨DXA(ROI-1～3)ともに症例と対照群の間に高い有意差を認めたが、腰椎骨密度(腰椎DXA)では症例と対照群の間に有意差を認めなかった。これは、腰椎骨密度が踵骨測定値に比べて骨量減少が小さかった可能性も否定はできないが、対象者に高齢者を多く含んでいたため、変形性脊椎症や大動脈の石灰化などが測定値に影響したとも考えられる。このような

高齢者を対象とした症例では、骨折例と非骨折例の分離能が、踵骨DXAが腰椎DXAよりも優れていたという報告⁸⁾もあり、今回の検討も加味すると腰椎測定での評価には限界があり、踵骨など他の部位の測定も有用であると考えられる。

比較検討した踵骨超音波測定値は、閉経早期の骨変化の検出能が低く、エストロゲンの欠乏症例の検出能も低かった。これは、閉経早期の女性において骨密度低下のスクリーニングには適切でないという報告⁹⁾と類似した。踵骨超音波測定はむしろ骨密度とは異なる骨折予測因子としての位置づけが期待されている¹⁰⁾。椎体骨折の検出能は骨密度と踵骨超音波測定値には差がないが、骨密度から独立した因子として、骨折、ことに大腿骨頸部骨折の予測に有用と考えられている^{11, 12)}。SXAを用いた踵骨骨密度測定が大腿骨頸部骨密度を良好に反映するという報告¹³⁾もあり、われわれも今後は大腿骨頸部骨折評価についても骨密度と超音波を組み合わせで検討する予定である。なお、ステロイド長期内服、エストロゲン欠乏や加齢変化は海綿骨に強い変化をきたすため、海綿骨が豊富である踵骨はDXA、超音波測定ともに感度よく変化を捉えることができると考えられる。

5. 結 語

- (1) 踵骨QCTならびに踵骨DXAの各ROIの比較により、踵骨骨密度分布の不均一性が確認された。
- (2) 踵骨DXAにおいて踵骨骨密度の変化を感度よく検出できる関心領域の設定を試みたが、通常臨床に用いている汎用の関心領域で算出した骨密度より優れた領域を得ることはできなかった。
- (3) DXAによる踵骨骨密度の診断的価値は、腰椎骨密度(QCT・DXA)にはやや劣るが、腰椎にて評価が困難な症例に対し、全身骨評価の補助的役割を担うと考えられた。

なお、本論文の内容は1998年6月27日第18回日本骨形態計測学会(岡山)にて発表したものを再検討し、一部変更したものである。

参考文献

- 1) 折茂 肇, 杉岡洋一, 五来逸雄, 他: 原発性骨粗鬆症の診断基準(1996年度改訂版). 日骨代謝会誌, 14, 219-233, (1997).
- 2) Yamada M, Ito M, Hayashi K, et al.: Calcaneus as a site for assessment of bone mineral density: evaluation in cadavers and healthy volunteers. Am J Roentgenol, 16, 621-627, (1993).
- 3) Gulielmi G, Selby K, Blunt BA, et al.: Magnetic resonance imaging of the calcaneus: preliminary assessment of trabecular bone-dependent regional variations in marrow relaxation time compared with dual x-ray absorptiometry. Acad Radiol, 3, 336-43, (1996).
- 4) Zagazebski JA, Rossman P, Mesina C, et al.: Ultrasound transmission measurements through the os calsis. Calcif Tissue Int, 49, 107-111, (1991).
- 5) Yamamoto I, Matsushita R, Yamamura Y, et al.: Bone mineral measurement of os calcis with dual x-ray absorptiometry. J Jpn Soc Bone Morphom, 6, 279-285, (1996).
- 6) 山崎 薫, 串田一博, 伊東昌子, 他: 踵骨骨密度による骨粗鬆症診断基準値設定の試み. 日骨代謝会誌抄録号, 15 (2), 202, (1997).
- 7) Yamada M, Ito M, Hayashi K, et al.: Dual energy x-ray absorptiometry of the calcaneus: comparison with other techniques to assess bone density and value in predicting risk of spine fracture. Am J Roentgenol, 163, 1435-40, (1994).
- 8) Ito M, Hayashi K, Ishida K, et al.: Discrimination of spinal fracture with various bone mineral measurements. Calcified Tissue Int, 60, 11-15, (1997).
- 9) Faulkner KG, Mcclung MR, Coleman LJ, et al.: Quantitative ultrasound of the heel: correlation with densitometric measurements at different skeletal sites. Osteoporosis Int, 4, 42-47, (1994).
- 10) 坂田 悟: Population based data による踵骨超音波測定法基準値の設定. 日骨代謝誌, 15 (4), 171-176, (1998).
- 11) Turner CH, Peacock M, Timmerman L, et al.: Calcaneal ultrasonic measurements discriminate hip fracture independently of bone mass. Osteoporosis Int, 5, 130-135, (1995).
- 12) Schott AM, Weill-Engerer S, Hans D, et al.: Ultrasound discriminates patients with hip fracture equally well as dual x-ray absorptiometry and independently of bone mineral density. J Bone Min Res, 10, 243-249, (1995).
- 13) 游 逸明, 山本逸雄, 大中恭夫, 他: SXA法による踵骨骨密度測定 of 臨床的有用性についての検討. 日骨形態誌, 3, 127-131, (1993).

図表の説明

Fig. 1 踵骨QCTによる踵骨骨密度測定法.

- (a) スライス位置.
- (b) 関心領域位置.
- (c) 踵骨骨密度分布評価領域.

Fig. 2 踵骨DXAの各関心領域.

Fig. 3 腰椎DXAと各種測定法との相関性.

Fig. 4 各種測定法の加齢変化.

Table 1 踵骨QCTによる踵骨骨密度とその分布.

Table 2 各種測定法の骨折リスクに対するodds比とその信頼区間そして有意性.

Table 3 各種測定法におけるコントロール群とエストロゲン欠乏群との測定値のZスコアの比較.

Table 4 各種測定法におけるコントロール群と長期ステロイド使用群との測定値のZスコアの比較.