

原著

DEXA法による骨密度の集団検診に
関する基礎的研究

小野田 敏 行*

最近、二重X線エネルギー吸収法 (Dual Energy X-ray Absorptiometry:DEXA) が開発され、骨粗鬆症の診断の一助として一部臨床で使用されはじめた。そこで著者は集団を対象としたDEXAによる骨密度測定法に関して基礎的検討を行ない、野外における集団検診の実用化を試みた。

DEXA装置として米国ノーランド社製 XR-26 を使用した。ファントムを用いた検討では直線性、精度ともに優れた結果を得た。

健康な198名 (男43名、女155名) の腰椎前後方向の骨密度値を測定し、性別年齢別の正常値を得た。女性では20才代から30才代の骨密度は安定していたが、40才代以降から減少傾向が認められた。それに対して、男性では20才代から60才代にかけて骨密度値は安定していた。また、腰椎は臨床的に賞用される測定部位の中で、最も測定に要する時間が短く、測定法も簡便であり、集団検診における測定部位として有用と考えられた。

検診は装置を検診車に搭載し、巡回して行なった。その結果、検診を希望した女性 (304名) のうち、49名が先に設定した正常値より1SD以下であり、うち4名が2SD以下であった。これらの低値を示した者全ては、特に他の検査で異常を認めず、また、明らかな病歴や自覚症状を持たない者も認められたことから、DEXAを用いた集団検診は有用であると考えた。

キーワード: DEXA (二重エネルギーX線吸収法), 骨密度, 骨粗鬆症, 骨フッ素症, 集団検診

I 緒言

近年、わが国では欧米先進諸国と同様に、急速に高齢化社会を迎えて老年期退行性疾患が注目されてきた。なかでも老年期骨粗鬆症による骨折や疼痛、さらにそれに伴うquality of life (QOL) の低下等が問題視されている。すなわち骨粗鬆状態の進行に伴って骨折の発生率が高まり、それが寝たきり状態の要因となり、同時に、予後の悪さ、医療費の高騰にも関わり、公衆衛生上、緊急に対応をせまられる課題となりつつある^{1)~3)}。

しかし、老年期の骨粗鬆症の本態は加齢に伴って起こる骨量の減少であり、ある程度の効果を示す治療法はあるものの顕著な効果を示す治療法は将来もあまり期待できないとされる。とすれば、今後骨

粗鬆症による健康障害を減少もしくは予防するためには、比較的若年期において骨量の増加を図り、老年期において障害を起こす確率の高くなる時期を遅らせることが肝要と考えられる。このことから、集団的には骨量の増減に関わる各種因子の検討が重要であり、また比較的若年期における骨密度のスクリーニングおよびその結果に伴う事後保健指導を行なうことがのぞまれる。この場合、骨密度のマススクリーニングとして非侵襲性、簡便性、再現性等に優れた検査法でなければ実用に供しえない。またこのような検査が集団を対象に日常的に行なわれるようになれば、骨粗鬆症だけではなく、骨量に変化を来す各種疾患のスクリーニングとしても大いに有用となる。

*岩手医科大学医学部衛生学公衆衛生学

骨密度測定法として1963年に Cameronら⁴⁾によってSPA (Single Photon Absorptiometry)法が行なわれて以来、これまでにMD (Micro densitometry)法⁵⁾やQCT (Quantitative Computed Tomography)法⁶⁾など様々な放射線学的ないわゆる骨塩定量法が開発され検討されてきた⁷⁾⁻¹⁰⁾。しかし、これらの方法は精度、再現性、測定時間、放射線被曝量等において何らかの欠点を有し⁸⁾¹¹⁾¹²⁾、集団検診に用いるには適さなかった。

最近開発された二重X線吸収法(DEXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry)は、これまでに開発された種々の骨量測定法と比較して、精度、測定時間、被曝量の点で優れ¹¹⁾⁻¹²⁾、骨密度の集団検診を可能とする機器性能を有すると考えられた。

本報はDEXA法による骨密度測定の集団検診法の可能性に関する基礎的な検討を行ない、さらに、その結果に基づき実際に集団検診を試みて得られた知見について報告するものである。

II 方法

DEXA装置はNorland社製XR-26を用いた。

1. DEXA装置の性能についての基礎的検討

1) 骨量測定用CaCO₃ファントムB-MAS (京都科学標本社製)を用いて、5段階のCaCO₃濃度のロッド封入部位におけるBMD (Bone Mineral Density) 値をgeneral scan mode¹³⁾にて測定し、本装置の測定精度を検討した。

2) Norland社製骨ファントムについて約180日間にわたりA-P scan modeにてBMD値を測定し、日間変動を検討した。scan parameterとしてpixel sizeを1.5mm×1.5mm、scan speedを60mm/secとし、scan widthは生体の腰椎前後方向における測定(以下AP)の場合と同様に13.05cmとした¹³⁾。測定は装置付属のソフトウェアにて装置の較正を行なった直後に1日に1回、計73回実施した。

3) 摘出骨標本について、scan条件のうち pixel

sizeを1.0mm×1.0mmと1.5mm×1.5mmとにおき、かつscan speedを30mm/sと60mm/sとした場合のBMD値をgeneral scan modeにて各10回ずつ測定し、scan条件の変更による測定精度と測定時間への影響を検討した。

2. 集団検診に適する測定部位の検討

1) 主要な測定部位についての比較検討

健常者および整形外科受診者を対象として臨床的にもっとも多く測定される部位の腰椎AP、腰椎側面方向(Lat)、大腿骨頸部について、あらかじめ用意されている標準の測定および解析プログラムによって、簡単な固定具を使用し、主に測定時間、そのほか肢位・測定領域決定の容易さを比較検討した。

2) 腰椎APによるBMD測定に関する検討

(1) DEXA法とその他の方法で得られる骨密度測定値の比較として、48名(男性9名、女性39名)の同一腰椎(L₃)について、本装置にて得られた腰椎APでのBMD値とQCT (Quantitative Computed Tomography)法(日立社製CT装置CT-W400)による骨密度の測定値との相関を検討した。なおQCT法における測定では皮質骨やSchmorl結節により影響を受ける⁶⁾ので、関心領域にこれらを含まないよう留意した。

(2) 腰椎APによる日本人の骨密度参考値(正常値)について、20歳代から80歳代までの健常者で骨粗鬆症によると思われる骨折歴がない202名(男性47名、女性155名)についてL₂~L₄BMD値を測定し、性別年齢階級別の骨密度正常値を検討した。ここでは側彎や変形等を認めたもの、またL₂~L₄までの各測定値が他椎体の値よりも0.1g/cm³以上高値の椎体を有した例を局所的な骨硬化を疑わせるものとして本検討対象から除外した。

3) 踵骨のBMD測定に関する検討

(1) 前記の3部位のほかに、海綿骨に富む荷重骨として腰椎に類似した踵骨について、集団検診時の

測定部位としての適否を判断するため、まずその測定方法を設定した。すなわち踵骨測定用プログラムがソフトウェアで用意されていないため、測定法について検討した。解剖学的に踵骨は後方に突出しているため、被検者をやや側臥位として側面から長軸方向に沿って骨密度測定を行なった(図1)。まず健康者数例について踵骨突起先端部から1mm幅で各部位の骨密度を測定した結果、踵骨突起では各部位の測定値の変動が大きいことから踵骨突起部を関心領域から除外し、比較的各測定値が安定する中央部より載距関節側の領域を用いることとした。この方法による測定時間、測定値の再現性について検討した。

(2) 腰椎APと踵骨の骨密度測定を同一時期に行ない得た85名(男性18名、女性67名)のうち、腰椎に局所の変化を認めず日常生活を支障なく行なえる群(健康群)52名(男性10名、女性42名)、腰椎に変形等の局所の変化を認めるが歩行障害のない群(腰椎変形群)20名、および明らかな歩行障害を有するが腰椎に変形を認めない群(歩行障害群)13名について、それぞれの腰椎APと踵骨のBMD値の相関を比較検討した。

3. DEXA法によるBMD値の野外集団検診

本DEXA装置(Norland社製XR-26)を検診車に搭載し、10数km間隔に散在する5つの検診会場へ移動させて骨密度の測定を主とした集団検診を実施し、本測定方法の有用性を検討した。対象は盛岡市周辺の農村地区における農業従事者311名(男性7

名、女性304名)について、腰椎APによるBMD測定を行ない、同時に、日常生活行動等の問診、体位計測、体力測定および診察、さらに骨代謝に関わる血液学的検査として血清カルシウム、無機リン、アルカリフォスファターゼ活性値(ALP)を測定した。

III 結果

1. DEXA装置の基礎的性能について

CaCO₃ファントムB-MA S中における各段階のCaCO₃濃度公称値とDEXA装置にて測定したBMD値との間には、図2のごとく $r = 0.996$ ($p < 0.01$)と極めて高い相関を示し、高い直線性が認められた。

次に同一骨ファントムについて6ヶ月間にわたって73回測定したBMD値の日間変動は、図3に示すようにL₂-L₄相当領域におけるBMD値の変動係数として0.672%と優れた再現性を認めた。

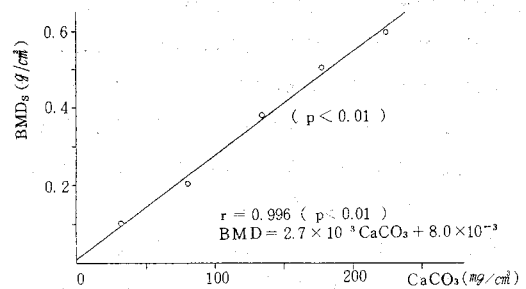


図2 CaCO₃ファントム公称値とDEXA法によるBMD値

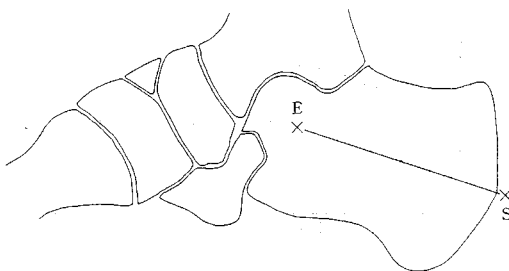


図1 踵骨側面測定におけるスキャン設定軸

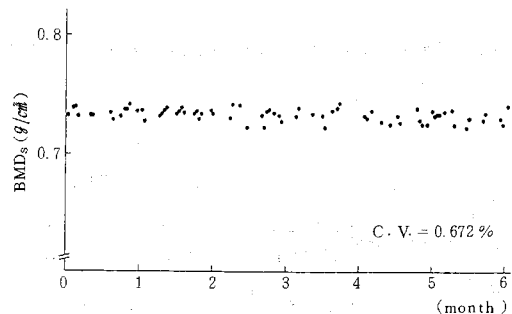


図3 DEXA法によるBMD測定値の日間変動

また摘出骨標本を用いて、pixel sizeとscan speedの2大スキャン条件がBMD測定に与える影響を検討した結果、表1に示す如くスキャン条件がpixel size 1.5mm×1.5mm、scan speed 60mm/secの場合には、10回測定したBMD値の変動係数が1.081%と1%を上回った。しかし pixel size を1.5mm×1.5mm から1.0mm×1.0mmにするか、もしくはscan speed を60mm/secから30mm/secへ減速することにより、BMD値の変動係数が小さくなり測定精度の向上を示した。また、スキャン条件の変更によって測定時間も変わるが、測定時間の観点からは前記のscan speedの減速の方がpixel sizeの向上よりも変動係数が小さく、BMDの測定精度の向上により効果的であった。

2. 集団検診に適する測定部位の検討

1) 主要測定部位についての比較検討

標準測定法による主要3部位における測定について、腰椎APでは通常、測定時間が開始から終了までほぼ6分程度を要した。ただし側彎症例などでは測定対象の腰椎に対して測定領域が正しく設定できない場合があり、このような例では測定中に図示される画像を参考として再度測定し直す必要があるため、8分程度の測定時間を要する。ただし、これまでに測定した約1000例のうちでは腰痛により全く測定肢位を取れない者はなかった。

腰椎LatはXR-26では側臥位で測定を行なうが、腰椎APに対して体厚の点で不利となることから標準測定法ではpixel sizeが1.0mm×1.0mm、

scan speedを15mm/secに設定されている。また、位置決めのためのスキャンを事前に行なう必要があるため、測定に10分程度を要した。さらに、側臥位を取る際に簡単な固定具を使用するので、正しい肢位とするために、測定時間が1~2分以上さらに延長されることが多かった。かつ一部の高齢者では側臥位が基だ取りにくい例も見受けられた。

大腿骨頸部の標準測定法ではpixel sizeは1.0mm×1.0mm、scan speed 45mm/secに設定されているが、この部位の測定も腰椎Latと同様に位置決めのためのスキャンを必要とすることから測定に8分程度を要した。また健常者は全例測定可能であったが、股関節痛を有する者では正しい肢位を設定できない例が多かった。

以上の結果、測定時間および測定の位置等の面から集団検診に適する部位としては腰椎APが腰椎Latや大腿骨頸部よりも優れていることがわかった。

2) 腰椎APによるBMD測定に関する検討

集団検診に適すると判明した腰椎APによるBMD測定について、他の優れた骨密度測定法として知られるQCT法による測定との関係を見るため、同一被検者の同一腰椎における骨密度をQCT法とDEXA法(AP)とによってそれぞれ測定した。両法による48例の測定値の相関は図4の如く相関係数が0.769と比較的高い相関を認めた(p<0.01)。な

表1 スキャン条件別によるBMD値の変動係数と測定時間

			scan speed	
			30mm/sec	60mm/sec
resolution	1.0mm×1.0mm	変動係数 測定時間	0.574% 187秒	0.764% 134秒
	1.5mm×1.5mm	変動係数 測定時間	0.589% 127秒	1.081% 91秒

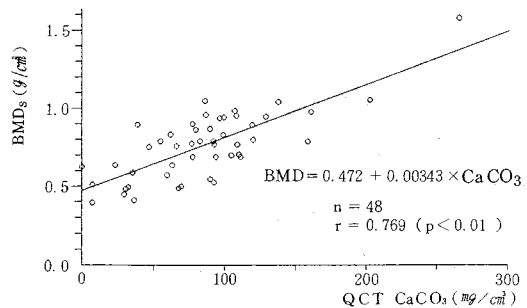


図4 QCT法によるCaCO₃相当値とDEXA法によるBMD値の相関

お、図4にもみられるように、QCT法では骨密度測定値がCaCO₃換算値 0mg/cm²、さらには負の測定値を示す欠点が指摘される。

日本人の腰椎APによる骨密度参考値について、健常な成人のL₂~L₄のBMD値と年齢との関係を、図5には女性155名のもの、図6には男性43名のものを示した。またこれらの値について性別年齢階級別にL₂~L₄BMD値を表2(女性)、表3(男性)にまとめた。女性のBMD参考値(いわゆる正常値)は20歳代が1.074g/cm²と最も高く、30歳代ではほとんど変わらず、20~30歳代(n=19)のBMD値の平均±標準偏差は1.072±0.119g/cm²であった。40歳代で減少傾向を示し、50歳代以降では1.000g/cm²を下回り明らかな減少を認める。40歳代と50歳代、また50歳代と60歳代との間でも有意の減少を示した(いずれもp<0.001)。ただ、60歳代と70歳代とでは減少傾向にはあったが有意を認めるまでには至らなかった。またBMD値の年間減少率は40歳代から

50歳代にかけて約1.7%と最も高かった。一方、男性のBMD正常値は測定例数が少ないので、年齢別特徴を結論づけられないが、概して加齢に伴う減少は、60歳代までの各年齢階層の平均値が1.048~1.083g/cm²にあってほとんど認められず、70歳代で初めて1.000g/cm²を下回り、50歳代との間に有意の減少を認めた(p<0.05)。

3) 踵骨のBMD測定に関する検討

先ず踵骨のBMD測定値の再現性は、1例のみの検討ではあるが、日を変えて7回測定した結果、変動係数で1.65%と優れた再現性を示した。スキャンはpixel sizeを1.0mm×1.0mm、scan speedを30mm/secとしたが、測定部位が小さいことから測定時間は3分程度と他の部位に比して短時間で測定できた。

踵骨のBMD値について、腰椎に変形等の局所的变化を認めず、歩行障害もなく、日常生活を支障なく行なっている、いわゆる健常者(52名)の踵骨

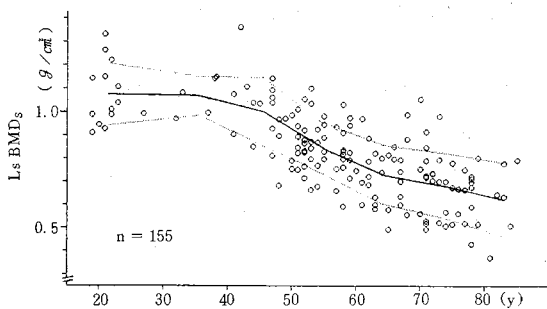


図5 腰椎(AP) BMD値と年齢との関係(女性)

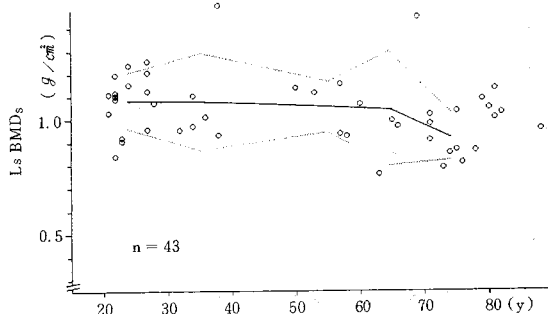


図6 腰椎(AP) BMD値と年齢との関係(男性)

表2 腰椎APによる骨密度参考値(女性)

年齢	n	BMD値(g/cm ²)
20-29	14	1.074±0.132
30-39	5	1.068±0.083
40-49	18	1.000±0.148
50-59	48	0.850±0.111
60-69	27	0.730±0.127
70-79	37	0.679±0.141
80-89	6	0.620±0.160

表3 腰椎APによる骨密度参考値(男性)

年齢	n	BMD値(g/cm ²)
20-29	16	1.083±0.123
30-39	6	1.078±0.214
40-49	0	
50-59	5	1.057±0.112
60-69	5	1.048±0.251
70-79	10	0.923±0.103
80-89	1	1.035

BMD値は、図7の如く同一人の腰椎APにおけるBMD値との相関係数が $r=0.756$ ($p<0.001$)と高い相関を認めた。また健常群のうち、女性(42例)の踵骨BMD値と年齢の関係は図8の如く、加齢に伴うBMD値の低下傾向が腰椎APの場合(図5)とよく類似している。これらの知見から踵骨はBMDの集団検診に適する部位のひとつと考えられた。しかし踵骨のBMD値は図9に示すように、歩行障害群では腰椎APのBMD値との相関が $r=0.599$ と健常群にみられる相関よりも低かった。従って、腰椎に変形等を認めて腰椎APによるBMD測定に適さないような事例では、踵骨のBMD値が当人のBMDの評価に適しよう。一方、歩行障害のみられるような事例における踵骨のBMD値は当人のBMDを評価するには不適である。

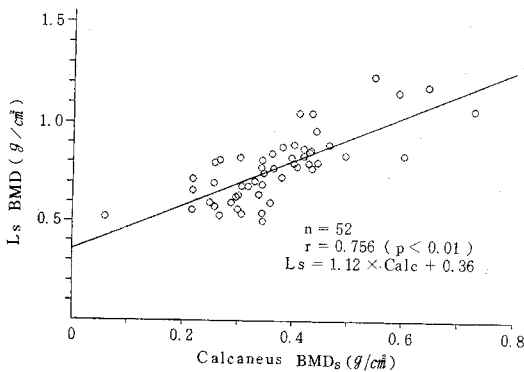


図7 踵骨側面BMD値と腰椎前後方向BMD値の相関(正常群)

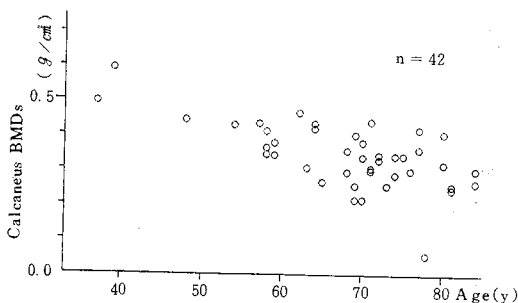


図8 踵骨BMD値と年齢との関係

3. DEXA法(AP)によるBMD値の野外集団検診

この野外集団検診では、胸部X線検診用の大型車を改造し、走行時における機器への防振に十分留意して本DEXA装置を固定させて、車内においてBMDの測定ができる検診車とした。盛岡市周辺の農村地区における5つの検診会場を巡回して検診したが、会場間の距離は数kmから遠方の会場で約30kmまで、場所によっては車道が舗装されていないところもあったが、移動によって機器に故障を生じることはなかった。

この検診では、骨密度測定が最も時間を要する検査であり、1日に検診を行なうことのできる最大人数は骨密度測定にかかる時間で規定される。被験者の検診車への入れ替え時間および測定画像のチェックも含めて、測定には1人当たり約10分を要した。また、BMDの測定にあたっては、腰椎の脊椎症性変化による測定値への影響をなるべく避けるために、 $L_2 \sim L_4$ の領域でBMD値が他椎体より $0.1g/cm^2$ 以上高値を示した椎体は局所的変化ありと考え、測定値の算出には高値を示した椎体を除き、他の2つの椎体のBMD平均値で表現した。

集団検診には9日間を要したが、検診結果については、受診した健常な女性304名の腰椎APにおけるBMD値は図10のように、著者の設定した年齢別参考値に沿って加齢に伴う減少傾向を示した。また、年齢別参考値からみた受診者の分布は表4の如くで

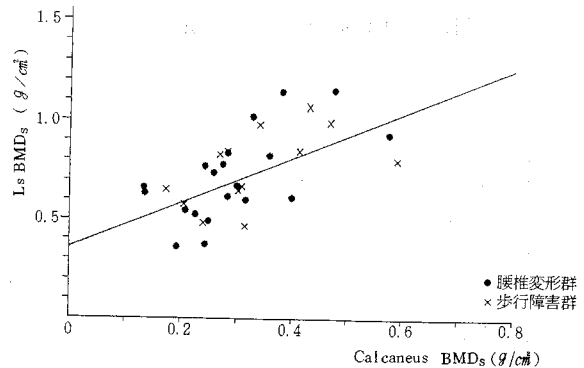


図9 踵骨側面BMD値と腰椎前後方向BMD値の相関(腰椎変形群、歩行障害群)

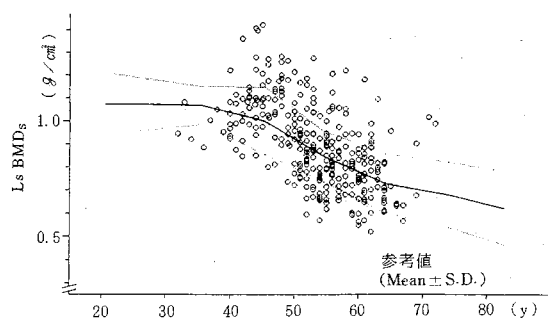


図10 集団検診による腰椎(AP)BMD測定(女性,304名)

あった。BMD値の参考値から2SD以上高値を示す者が全体で25名(8.2%)と各年齢階級層にやや多かったが、骨粗鬆症の予防および早期発見を目的とする集団検診では参考値を下回る者のスクリーニングが重要であるため、ここではあまり問題ではないと考えた。この検診で参考値平均より-1SD以上低値を示したものは30~40歳代の87名中10名(11.5%)であり、50歳代149名中31名(20.8%)であった。なお、これらの対象者は全員が血清中のCa、無機リン、ALPの値に異常値は認めなかった。

以上のように、野外におけるBMD測定の集団検診は、DEXA装置を設備した検診車によれば実施できることが確かめられた。なお、本集検にはDEXAの検者(医師)1名、診察医1名、問診・採血担当者2名(保健・看護婦)、DEXA介助者1名および受付・運転業務1名の計6名を必要とした。

IV 考察

一般に、集団を対象としてスクリーニングを行なう場合、検査法は精度、再現性、簡便性、非侵襲性に優れているものが望ましい。特に骨粗鬆症のような通常慢性に経過する病態では、そのスクリーニング法には各条件について厳しい水準が要求される。

近年、骨粗鬆症の診断には種々の放射線学的骨密度測定法が開発され臨床に応用されてきたが、集団検診としてはMD法などの手部のX線像を用いてその形状や濃度から判定を行なう方法が、測定に特殊な機器を必要とせず測定時間も短く、簡便であり⁵⁾

表4 受診者(女性)腰椎AP・BMD値の分布

+2SD以上	25 (8.2%)
+1SD以上+2SD未満	40 (13.2%)
0SD以上+1SD未満	92 (30.3%)
-1SD以上 0SD未満	98 (32.2%)
-2SD以上-1SD未満	45 (14.8%)
-2SD以下	4 (1.3%)

賞用されてきた。しかし、この方法は末梢骨の部位を対象に測定するため、骨折の頻度の高い椎体や大腿骨頸部等の海綿骨を主成分とする部位を対象としていないことから骨折の予知に結びつきにくく、さらに放射線被曝量がやや高く、再現性もやや劣る⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾。最近開発され臨床で用いられはじめたDEXA法は、椎体や大腿骨頸部等の骨密度を感度よく定量的に測定しうるものでX線被曝量も少ない⁽¹¹⁾⁽¹⁶⁾ことから集団検診に適する可能性を有すると考えられた。さらに同法の装置は大型で重量もあるが、検診車に搭載可能であり、移動巡回式検診の可能性もあるので、本法を集団検診に応用しうるための基礎的検討を行なった。

骨密度の測定精度について井上ら⁴⁾はMD法の精度を変動係数で2~7%とし、また、Wahner¹⁸⁾はSPA法の変動係数を1~2%としている。著者の検討したNorland社XR-26によるDEXA法では、骨ファントムによる検討ではBMD値の日間変動が0.672%と少なく、またCaCO₃濃度とBMD値とは $r=0.996(p<0.01)$ と直線性にも優れ、他法に比べin vitroにおける精度、再現性に優れている。また、Hoら¹⁹⁾は本法で得られる測定値は灰化骨重量や乾燥骨重量によく相関したと報告している。scan parameterの検討では、測定時間を延長させるようなscan parameterの変更、特にscan speedを遅く設定することが再現性の向上に効果的であった。つまり、測定条件を任意に設定して行なうgeneral scan modeでは、scan speedをなるべく遅く設定すべきである。

骨密度測定の対象領域としては、腰椎A P、腰椎L a t、大腿骨頸部が臨床では費用され、各領域測定用の専用プログラムが用意されているので、まずこれらの領域の測定法について検討した。腰椎A Pは測定法が簡便であり測定時間も6分程度と、短い時間で測定できる。また、測定肢位決定や測定結果の解析が容易であることから検者の違いによる差が現れにくいと考えられた。しかし、腰椎A Pは椎体と同時に椎弓等の皮質骨に富む後方成分も同時に測定するため、椎体の変化を鋭敏に捉え得ないことが危惧されたが、Q C T法による椎体の測定値と $r=0.769$ とよく相関する結果から感度上問題視しなくともよいと考えられた。

腰椎L a tでは後方成分や腹部大動脈を測定領域に含まず、さらに椎体上縁や下縁領域をも除外して関心領域を設定することが可能であり、海綿骨に富む椎体のみを測定しうることから椎体の変化を最も鋭敏に捉え得る方法と考えられた。しかし、現機器では測定時間が腰椎A Pに比べ4分程度延長し、また肢位や測定領域の決定に関してやや煩雑で、変動係数が腰椎A Pに比べて大きい¹⁹⁾ため、一次検査としては適しにくいと考えられた。

大腿骨頸部の骨密度値は大腿骨頸部骨折の発生率によく相関して大腿骨頸部骨折の発生予知に有用である²⁰⁾とする報告がある。しかし、大腿骨頸部の測定は、腰椎L a tと同様に測定時間が長く、測定法も煩雑で、肢位により誤差が拡大する²¹⁾こと、さらに、今後行なう検診の重点が比較的若年期における骨密度値のスクリーニングであることから一次検査として同部位の測定は最適とは考えられない。

腰椎A Pで著者の設定した参考値は、女性では20歳代から30歳代にかけて最大骨密度を示し、50歳代から有意な減少を示す。年間あたりの減少率を試算すると、40歳代から50歳代にかけての年齢層が約1.7%と最も大きな減少率を示し、次いで50歳代から60歳代にかけて約1.4%、60歳代以降は0.7~0.9%と減少傾向は弱まる。Gausensら²²⁾によると、D P A法による白人女性の腰椎BMD値は50歳代から有意な減少を示すもののその減少率は著者の成績

よりも少なく、最も大きな減少率を示す40歳代から50歳代にかけて年間約0.7%としている。Mazessら²³⁾は、同じくD P A法による白人女性の腰椎BMD値が40歳代から60歳代にかけて年間約1.0%減少したと報告している。日本では、乗松ら²⁴⁾がD P A法を用いた沖縄県住民の調査において、Mazessらとほぼ同様の減少率を報告している。また、D E X A法による日本人女性の腰椎BMD値について、串田ら²⁵⁾がLunar社製DPXとHologic社製QDR-1000の2機種を用いて測定した結果、両機種とも40歳代から50歳代にかけて年間約1.8%の減少率にあるとしている。これらの結果は減少率に多少の違いはあるが、女性では40歳代~60歳代に生涯でもっとも骨密度減少速度が強まることで著者の成績と一致している。男性では、Gausensら²²⁾による白人男性、乗松ら²⁴⁾による日本人男性の調査ともに加齢による骨密度減少は少なく、若年期の最大骨密度値と比較し老年期で10%強の減少にとどまる。著者の設定した参考値では最低値を示す70歳代と20歳代とを比較すると約15%の減少を示した。

BMD値そのものについては、BMD測定法によって大きく異なり、同じD E X A測定法でも機種によって異なることが知られている。そのために福永ら²⁶⁾は5つの機種のD E X A装置について機種相互のBMD換算式を報告している。そこで、串田ら²⁵⁾の報告した女性の腰椎A P (D E X A法)による年齢別BMD正常値について、福永らの換算式により著者の使用したXR-26型の値に換算して比較してみた。表5が換算値で示した女性の年齢階級別BMD値(平均±標準偏差)であり、よい一致を示した。

BMD値と骨折率の関係では、福永ら²⁷⁾は、QDR-1000を用いた調査で、腰椎A PのBMD値が $0.85\text{g}/\text{cm}^2$ (XR-26換算値 $0.82\text{g}/\text{cm}^2$)以上では脊椎骨折の危険性は殆どなく、 $0.60\text{g}/\text{cm}^2$ (XR-26換算値 $0.56\text{g}/\text{cm}^2$)以下では大部分の症例で骨折を生じると報告している。また、市村ら²⁸⁾は、XR-26を用いた調査で、 $0.85\text{g}/\text{cm}^2$ 以上では骨折の危険性は低く、 $0.70\text{g}/\text{cm}^2$ 以下ではその危険性が著しく高くなるとしている。染谷ら²⁹⁾は、QDR-1000を用い、 0.700

表5 女性の腰椎A PによるBMD参考値の比較

(平均±標準偏差: g/cm²)

年齢	著者の成績 (XR-26型)	串田ら ²⁵⁾ (QDR-1000型)	串田ら ²⁵⁾ (DPX型)
20-29	1.074±0.132	1.018±0.082	0.990±0.085
30-39	1.068±0.083	1.019±0.078	0.986±0.072
40-49	1.000±0.148	0.980±0.094	1.013±0.080
50-59	0.850±0.111	0.798±0.081	0.835±0.098
60-69	0.730±0.127	0.735±0.105	0.755±0.102
70-79	0.679±0.141	0.649±0.104	0.707±0.107
80-89	0.620±0.160	0.628±0.103	

表中の串田らによるHologic社製QDR-1000型、およびLunar社製DPX型による女性の腰椎A Pによる骨密度参考値は、厚生省シルバーサイエンス「退行期骨粗鬆症の予防及び治療法に関する総合的研究班」による機種換算式²⁶⁾により著者が換算して示したものである。

g/cm² (XR-26換算値 0.663g/cm²) 以下で脊椎骨折の頻度が増加し、0.500g/cm² (XR-26換算値 0.455g/cm²) 以下では全例に骨折を認めたとしている。白木ら³⁰⁾は、全国12施設で6機種を用いた調査により、QDR-1000換算値で、0.86~0.84g/cm² (XR-26換算値 0.83~0.81g/cm²) を基準にすると骨粗鬆症および骨折例をよく判別できるとしている。閾値設定の基準に違いがあるため、各報告で示されたBMD値には大きな開きがあるが、いずれも腰椎A Pの骨密度と脊椎骨折率がよく相関する点で一致している。

腰椎A Pを集団的検診における最適部位とした場合の問題点として、腰椎は骨棘形成や側彎、変形等の局所的变化が起こりやすく見かけ上高値を示す例が見受けられることが挙げられる。一部の椎体のみであれば今回行なったような簡単な補正法で、ある程度の補正効果は得られたが、測定領域内の全ての椎体に変化のある場合には腰椎A Pのみでの判定は不能となる。しかし、これらの変化は高齢者ではその率が高くなるが、今後の検診の対象となる比較的

若年者には少ないため、一次検査としてまず腰椎A Pでの測定を行ない、さらに補正不能と考えられる例についてのみ他部位の測定を施行すれば効率的な検診となろう。

補助的測定部位として踵骨側面について検討した結果、同部位は変動係数1.65%と再現性が良く、測定も特殊な固定具が不要で測定時間も約3分と簡便であった。また正常群では踵骨と腰椎A Pとの測定値の相関が $r=0.756$ と優れ、有用性が高い。ただし同部位の骨密度は、歩行障害群では腰椎A Pとの相関が $r=0.514$ と低くなることから、歩行等の運動量に強く依存する可能性があり、運動量との関連性についての検討が必要である。さらに、踵骨は通常、骨折等の病変を起こしにくい部位であることから、踵骨の骨密度値測定には直接的な骨折予知等の意義に乏しく、測定対象部位としてfirst choiceにはなりにくい。

野外における集団検診を試みるにあたっては、腰椎A P測定を主とし、その他血液学的検査等も行なった。腰椎A P測定の結果、被検者の測定値の分布は先に設定した年齢階級別の参考値にはほぼ一致していたが、年齢平均値+2SDを上回ったものも少なかった。正常値の設定にはさらに例数を増して検討する必要があると考えられた。

また、年齢平均値を大きく下回るものはほとんどが特に骨粗鬆症を強く疑わせるような既往歴がないものであり、BMD検診の有用性を示唆した。さらに、今回の検診では腰椎A PのBMD値が 0.50g/cm² 未満の者は認められなかったが、0.60g/cm² 未満の者が50歳代で4名(2.7%)、60歳代で6名(9.1%)認められた。これらの受診者は、前述した諸家のBMD値と骨折率に関する報告から、検診時にすでに骨折の危険性が高い状態であったと考えられる。今後このような集団の追跡調査を行ない、検診の有用性を確認したい。

この方法によれば、BMDの野外集団検診は可能であることが確かめられたが、1日に検査可能な人数はせいぜい40~50人程度である。1966年に勝沼ら³¹⁾が集団検診のモデルとして挙げた心電図検査で

は、費用効率の点で1時間20名以上記録可能な心電図計を用いることが望ましいとしている。検査内容やコストが異なるため一概に比較はできないが、1時間20名程度の測定を行なうことも可能な新型のDEXA装置も開発されはじめており、機器の改良に伴ってさらに効率的な検診が行なわれるものと考えられる。また、測定1回あたりのコストは、Wahner¹²⁾は100-200ドルとしているが、測定毎の消耗品は結果プリントに関するもののみであるので前述の機器の普及により今後コストも大幅にダウンしていくことが期待される。

V まとめ

急速に社会が高齢化しつつあるわが国で今後急増が予想される骨粗鬆症に対応すべく、現時点で最も優れた骨密度測定法とされるDEXA装置を導入し、集団検診のための基礎的性能を検討すると共に野外における骨密度測定の集団検診の可能性について検討を行ない、以下の結果を得た。

1. 著者の使用したDEXA装置(Norland XR-26)は高いBMD測定精度を有し、日間変動も少なかった。
2. 腰椎APでのBMD値測定は、測定時間が比較的短く、肢位・測定領域の決定も簡便であることから集団検診にもっとも適していた。
3. 腰椎APはQCT法による椎体骨密度値との相関が高く感度に優れていた。
4. 腰椎APの正常値は女性では50歳代から有意な減少を認め、40歳代から50歳代にかけての年齢層で最も大きな減少率(年間約1.7%)を示した。しかし男性では年齢の違いによる骨密度値の変化は殆ど認めず、70歳代のみで他年齢層に比べ有意な減少を示した。
5. 腰椎APの測定不適例に対する補助的検査部位としては踵骨が簡便性に優れ、再現性、感度ともに良好であった。
6. BMDの野外集団検診はDEXA装置設備の検診車により実施可能で、1日40~50名を検診しえた。この検診では他検査で異常なく自覚症や病歴

も特記すべきものがない女性で骨密度値のみが低下しているものが見出され、BMD集団検診の高い有用性が示唆された。

稿を終えるに当たり、御指導、御校閲を賜りました恩師岩手医科大学衛生学公衆衛生学講座角田文男教授に深甚なる謝意を捧げます。また臨床面において御指導、御協力を頂きました岩手県鶯宿温泉病院久保谷康夫院長に厚く御礼申し上げますとともに、研究に御協力頂きました当講座の立身政信助教授をはじめ教職員各位に深謝いたします。さらに、集団検診に御尽力頂きました岩手県厚生連、花巻市農協、花巻市運動指導員、雫石町農協の各位に感謝致します。

本研究は平成元年度~平成4年度文部省科学研究費(一般A No.01440037、骨塩量測定による骨フッ素症および骨粗鬆症の集団検診への応用:研究代表者 角田文男)の補助を受けて行なわれ、その要旨は第40および41回東北公衆衛生学会(青森,1991)(秋田,1992)、第50および51回日本公衆衛生学会(盛岡,1991)(東京,1992)、第19回国際フッ素研究学会(京都,1992)で発表した。

参考文献

- 1)松林孝王, 他: 大腿骨頸部骨折患者の生命予後について, 整・災外, 33, 1387-1391, 1990.
- 2)細井孝之, 折茂肇: 骨粗鬆症の疫学, 治療学, 25, 635-639, 1991.
- 3)川嶋禎之, 堂前洋一郎, 大森豪: 大腿骨頸部骨折の発生率とその背景因子, 整形外科MOOK No.62 高齢者の骨折, 48-58, 金原出版株式会社, 東京, 1991.
- 4)Cameron JR, Sorenson J: Measurement of bone mineral in vivo; An improved method, Science 142, 230-232, 1963.

- 5)井上哲郎, 他: X線像による骨萎縮度判定の試み, 骨代謝, 13, 187-195, 1980.
- 6)重松泰介: Computed Tomography(CT)を用いた脊椎骨萎縮度の定量的研究, 日整会誌, 58, 567-581, 1984.
- 7)Wahner HW, Dunn WL, Riggs BL: Assessment of Bone Mineral. Part 2, J Nucl Med, 25, 1241-1253, 1984
- 8)Mazess RB, et al: Does Bone Measurement on the Radius Indicate Skeletal Status? Concise Communication, J Nucl Med, 25, 281-288, 1984.
- 9)LeBlanc AD, et al: Precision of Dual Photon Absorptiometry Measurements, J Nucl Med, 27, 1362-1365, 1986.
- 10)Dacosta MC, et al: Effect of Source Strength and Attenuation on Dual Photon Absorptiometry, J Nucl Med, 30, 1875-1881, 1989.
- 11)友光達志: 骨塩定量法の原理と基本性能②基本性能, 骨ミネラル測定と骨粗鬆症, 27-32, メディカルレビュー社, 大阪, 1989.
- 12)Wahner H: Technical Aspects and Clinical Interpretation of Bone Mineral Measurements, Public Health Rep(suppl.), 27-30, Sep-Oct 1989.
- 13)Wahner HW, et al: Comparison of Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Dual Photon Absorptiometry for Bone Mineral Measurements of the Lumbar Spine, Mayo Clin Proc, 63, 1075-1084, 1988.
- 14)Ho CP, et al: Accuracy of Dual-Energy Radiographic Absorptiometry of the Lumbar Spine: Cadaver Study, Radiology, 176, 171-173, 1990.
- 15)Hansen MA, et al: Dual-Energy X-ray Absorptiometry: A Precise Method of Measuring Bone Mineral Density in the Lumbar Spine, J Nucl Med, 31, 1156-1162, 1990.
- 16)Gluer CC, et al: Comparative Assessment of Dual-Photon Absorptiometry and Dual-Energy Radiography, Radiology, 174, 223-228, 1990.
- 17)福永仁夫, 森田陸司: 骨粗鬆症の診断と治療効果の判定 1 骨量定量法による診断, 治療学, 25, 691-694, 1991.
- 18)XR-26 X-Ray Bone Densitometer OPERATOR'S GUIDE, NORLAND Corporation, U.S.A., 1990.
- 19)揖場和子, 他: 第3腰椎中央部の骨塩量測定の有用性とその限界, 日骨形態誌, 1, 17-22, 1991.
- 20)Mazess RB: Bone Density in Diagnosis of Osteoporosis: Thresholds and Break-points, Calcif Tissue Int, 41, 119-123, 1987.
- 21)Wilson CR, et al: The effect of positioning on dual energy X-ray bone densitometry of the proximal femur, Bone Miner, 13, 69-76, 1991.
- 22)Gausens P, et al: Age-, Sex-, and Menopause-Related Changes of Vertebral and Peripheral Bone: Population Study Using Dual and Single Photon Absorptiometry and Radiogrammetry, J Nucl Med, 27, 1540-1549, 1986.
- 23)Mazess RB, et al: Spine and femur density using dual-photon absorptiometry in US white women, Bone Mineral, 2, 211-219, 1987.
- 24)Norimatsu H, et al: Bone mineral density of the spine and proximal femur in normal and osteoporotic subjects in Japan, Bone Mineral, 5, 213-222, 1989.
- 25)串田一博, 他: 骨量評価法 - DEXAによる骨粗鬆症の診断 -, 日本臨床, 12, 121-126, 1990.
- 26)福永仁夫, 他: 腰椎骨塩定量装置間のCross Calibration, 日骨代謝誌, 8, 284, 1990.
- 27)福永仁夫, 森田陸司: Dual Energy X-ray

- Absorptiometry ① 躯幹骨と末梢骨, 骨ミネラル測定と骨粗鬆症, 145-149, メディカルレビュー社, 大阪, 1989.
- 28) 市村正一, 他: 骨粗鬆症の骨塩量の評価 - Dual Energy X-ray Absorptiometry による測定 -, 東日本臨整会誌, 2, 538-540, 1990.
- 29) 白木正孝, 他: 脊椎骨密度統一表示による加齢変化と骨折閾値について, 日骨代謝誌, 8, 283, 1990.
- 30) 染谷操, 他: Dual Energy X-ray Absorptiometry による骨塩定量法の臨床応用の検討, 日整会誌, 64, S 165, 1990.
- 31) 勝沼春雄, 小泉明, 田中恒男: 集団検診における心電図検査の方法と判定について, 公衆衛生学的接近, 47-52, 南江堂, 東京, 1966.

著者への連絡先:

〒020 盛岡市内丸19-1

岩手医科大学医学部衛生学公衆衛生学講座

Tel 0196-51-5111

小野田敏行