

原 著

脊椎骨粗鬆症の定量的診断法に関する研究

— X線走査キモグラフィーによる診断 —

田 中 義 也
信州大学医学部整形外科学教室
(主任: 藤本憲司教授)

A STUDY ON THE QUANTITATIVE DIAGNOSIS OF VERTEBRAL OSTEOPOROSIS

Yoshinari TANAKA

Department of Orthopedic Surgery, Faculty of Medicine,
Shinshu University

(Director: Prof. K. Fujimoto)

Key words: 脊椎骨粗鬆症 (vertebral osteoporosis), 定量的診断法 (quantitative diagnosis),
X線走査キモグラフィー (X-ray scanning kymography)

I 緒 言

全身的に骨の鉱物質(骨塩)の減少する疾患は多数あるが、その診断基準になる骨塩量の測定は、一般にはX線像の濃淡による方法がとられる。特殊なものとして骨の一部を採取して骨の密度を測定したり、骨梁の面積比を測定する方法などが考案されている。

しかし従来の方法には一長一短があり、理想的な方法はない。そこで著者はX線走査キモグラフィーを用いて、骨塩量の数量的表示を企図し、日常しばしばみられる postmenopausal または senile osteoporosis (以下 osteoporosis と略す) を対象として、osteoporosis の診断基準の確立をはかった。

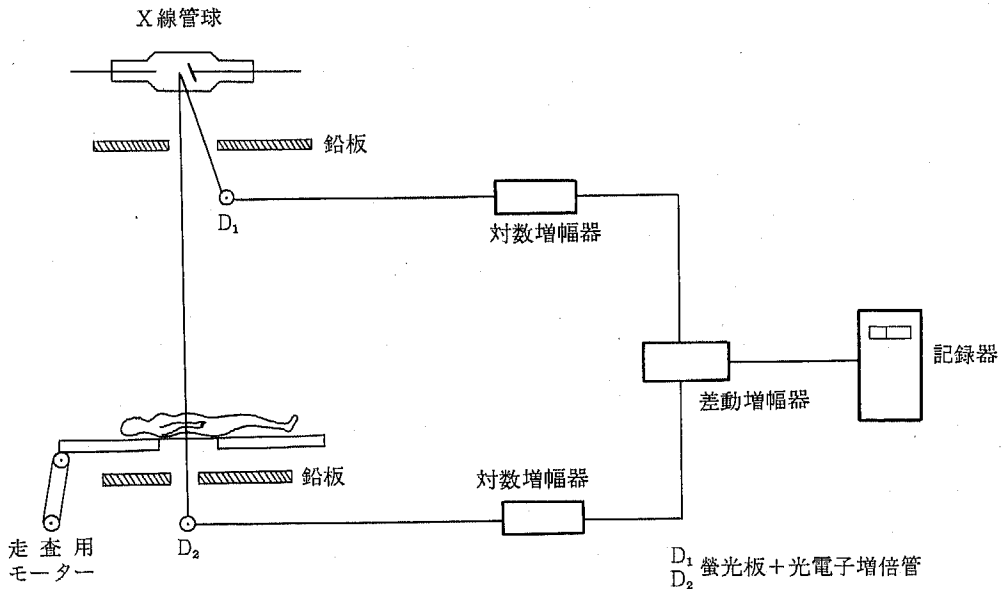


図1 X線走査キモグラフィーの構成

II 実験方法

1 X線走査キモグラフィ

本装置はすでに梅垣⁽²⁶⁾が報告しているの、その要点のみを述べる。これは図1で示すとき構成からなるX線厚み計の一種である。微細なX線ビームを、一定の速度で移動する被射体にあてて、入射線量と透過線量をそれぞれ光電増倍管に受け、対数増幅器、差動増幅器を通して両者の線量比を測定するものである。したがってX線出力の変動の影響は受けないうえに、X線障害の危険性もほとんどない。

作動条件は管球電圧180 kVp, 電流5 mA, フィルター Cu 0.5 mm + Al 0.5 mm, スリット 1 × 1 mm, 距離60cm, 検査台の走査速度 9 cm/min, gain は水15cmの厚さで記録紙上15cmの振幅を示すように調節した。

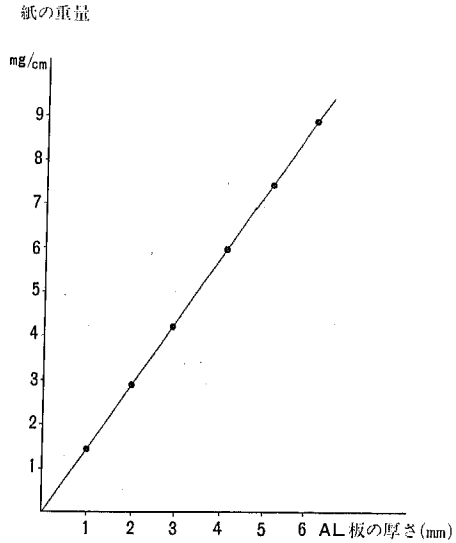


図3 Al. step wedge の Kymogram の重量換算図 (Al 当量 mmAl/cm)

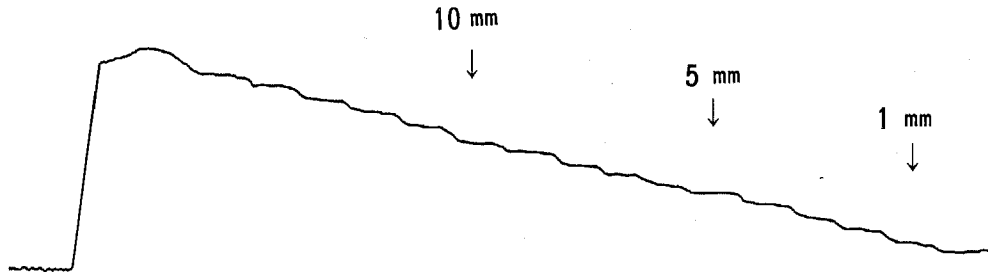


図2 Al. step wedge の kymogram



椎体中央部より1cm終板側

椎体中央部

図4 摘出椎体標本の kymogram (第4腰椎)

2 予 備 実 験

a Aluminium step wedge のキモグラム

X線走査キモグラフィーで一定組織の物質の厚みの変化を忠実に測定できることを証明するため、aluminium step wedge (以下 Al. step wedge と略す) の走査を行なった。すなわち厚さ 1 mm のアルミ板を階段状に積み重ねたもの (Al. step wedge) を作り、水深 15 cm の水槽に浸けて走査した。得られたキモグラムは図 2 のごとく正確な階段状を示した。またそのキモグラムを均質な紙に写して切り抜き、底辺 1 cm あたりの重量を測定したところ、アルミ板の厚さの増加とそれぞれのキモグラムの重量とは正比例をなすことを認め、直線グラフを作ることができた (図 3)。以後骨塩量をアルミ当量 (mmAl/cm) で表わすために、この図表を換算用図表として使用した。

b 摘出標本 (第 4 腰椎) のキモグラムの骨塩のアルミ当量への換算法

屍体から摘出した腰椎を Al. step wedge の走査条件と同一条件下におき、X線ビームを前後方向に照射しながら、椎体の右から左へと走査した。得られたキモグラムは図 4 のごとくである。骨塩の測定は均質の乾燥した紙に腰椎のキモグラムを写し、切り抜いてその重量をはかり、キモグラムの底辺の長さで割り、底辺 1 cm あたりの重量 (mg/cm) を求め、前述の換算図表からアルミ当量として算出した。走査にあたって、その部位によりキモグラムの型が異なるので、椎骨の中央およびその上下各 1 cm の 3 か所を走査し、その平均値をもって、その椎骨の平均骨塩量 (以下骨塩量と略す) とした。

c 脱灰過程におけるキモグラムの推移

屍体から得られた腰椎 (7 屍体, 8 椎体) について、脱灰の進行にともなうキモグラムの推移を追求した。その方法は、椎体を正中線で 2 分割し、一方はフォルマリン液に固定保存し、他の半分は 85%

塩酸脱灰液につけ、1 日おきにキモグラフィーと X 線撮影を行なった。脱灰の進行度は X 線像と脱灰液中の Ca 量から測定した。脱灰の進行にともなうキモグラムの変化は図 5 に示すごとくである。

d 小 括

X線発生器の出力の変動にともなう吸収率の誤差を小さくした X 線厚み計を利用して、Al. step wedge のキモグラフィーを行なったところ、それぞれのキモグラムはアルミの厚さや骨塩の減少に忠実に変動を示し、かつ脊椎の骨塩量をアルミ当量で表わしうることがわかった。

III 骨格標本についての研究

1 第 4 腰椎の骨密度の測定 (性別・年代別の比較)

骨格標本は、信州大学第二解剖学教室および東京大学解剖学教室に保存されている、晒した人体骨格標本の第 4 腰椎を資料とし、男性 60 体、女性 51 体、計 111 体を使用した。年齢分布は 40 才代女性 3 例を除いて、各年代、性別につき 6~14 体であった。

a 骨密度の測定法

第 4 腰椎の重量は、椎骨を充分乾燥させたのち、上皿天秤で秤量した。腰椎の容積の測定は、形態の複雑さから種々の方法が報告されているが、(3)(4)(10)、著者は Broman (4) の millet seed 法に準じて測定した。すなわち著者は、きびの実より、や、小さい菜種の実を用い、一定の容器でそれを満すに必要な菜種の実の容量を測定、そののち容器内に椎骨を入れて菜種の実をみだし、余った菜種の実の容量をもって椎骨の容積とした。以上のようにして求めた重量と容積から骨密度 (g/cm³) を求めた。

b 骨密度の性別・年代別の比較

図 6 に示すように、男性・女性ともに各年代で測定値にかなりのばらつきがあり、個人差が大きいこ

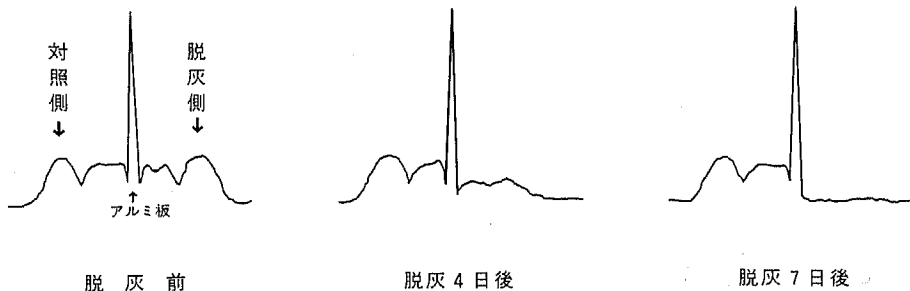


図 5 腰椎々体の脱灰過程での kymogram

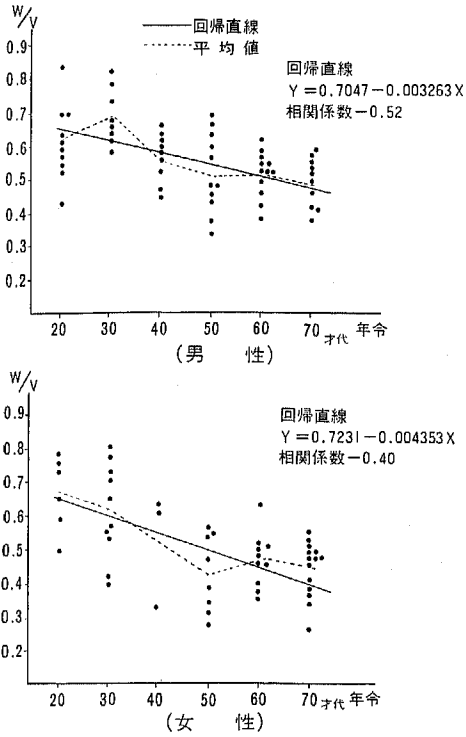


図6 骨格標本の骨密度(第4腰椎)

表1 性別・年代別骨密度平均値

	20才代	30才代	40才代	50才代	60才代	70才代
男性	0.61	0.69	0.56	0.51	0.51	0.49
女性	0.66	0.61	0.52	0.43	0.47	0.44

とを示しているが、全体として年齢が進むにつれて減少の傾向を明らかに示している。各年代の平均値は表1に示すとおりである。平均値は30才代の男性、60才代の女性を除いては、年齢が進むにつれて減少し、ことに女性の減少率が大きい。年代による密度の推移は、男性：相関係数 -0.52 、回帰直線 $y = 0.7047 - 0.003263x$ 、女性：相関係数 -0.40 、回帰直線 $y = 0.7231 - 0.004353x$ で相関関係を示し、明らかに年齢が進むにつれて骨密度は減少している。

2 X線走査キモグラフィーによる骨塩の測定

前述の腰椎を24時間水に浸け、内部の気泡を充分排除したのち、水深15cmの水槽(アクリル樹脂製)に浸け、X線ビームが椎骨の矢状方向にあたるようにおき、第4腰椎の椎体の中央およびその上下各1

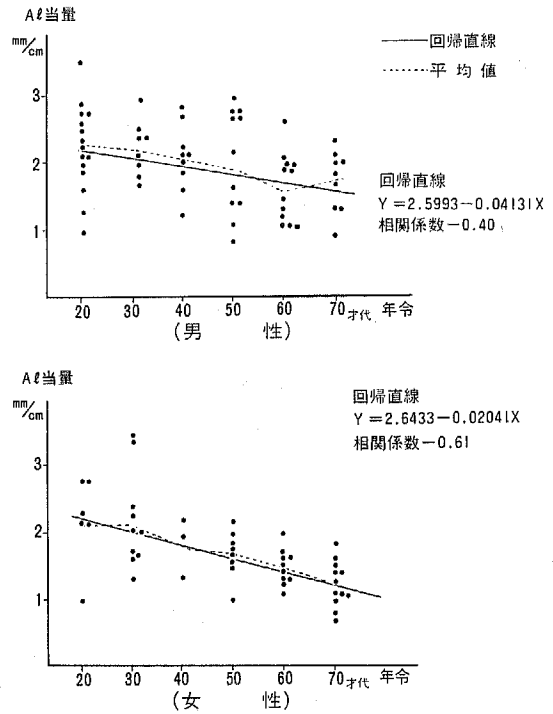


図7 骨格標本の骨塩量(第4腰椎)

表2 腰椎摘出標本における性別・年代別骨塩量平均値

	20才代	30才代	40才代	50才代	60才代	70才代
男性	2.30	2.21	2.07	1.89	1.61	1.71
女性	2.17	2.08	1.78	1.64	1.45	1.19

(単位はmmAl/cm)

cmの所を3カ所走査し、その平均値をアルミ当量に換算した。

測定成績の平均値は表2に示すとおりである。全体としては年齢の増加につれて減少の傾向をとり、同年代では骨密度と同様に女性の方が低い値を示し、かつ減少率も女性の方が大きい。しかし同年代では個人差が大きい。年齢の推移と骨塩との間には男性：相関係数 -0.40 、回帰直線 $y = 2.5993 - 0.04131x$ 、女性：相関係数 -0.61 、回帰直線 $y = 2.6433 - 0.02041x$ なる相関関係が認められた(図7)。

3 骨密度と骨塩含有量との相関

性別・年代別につき、骨密度と骨塩量との関係を見ると、相関係数 0.81 の相関が認められ、図8のような棄却楕円がえがかれた。

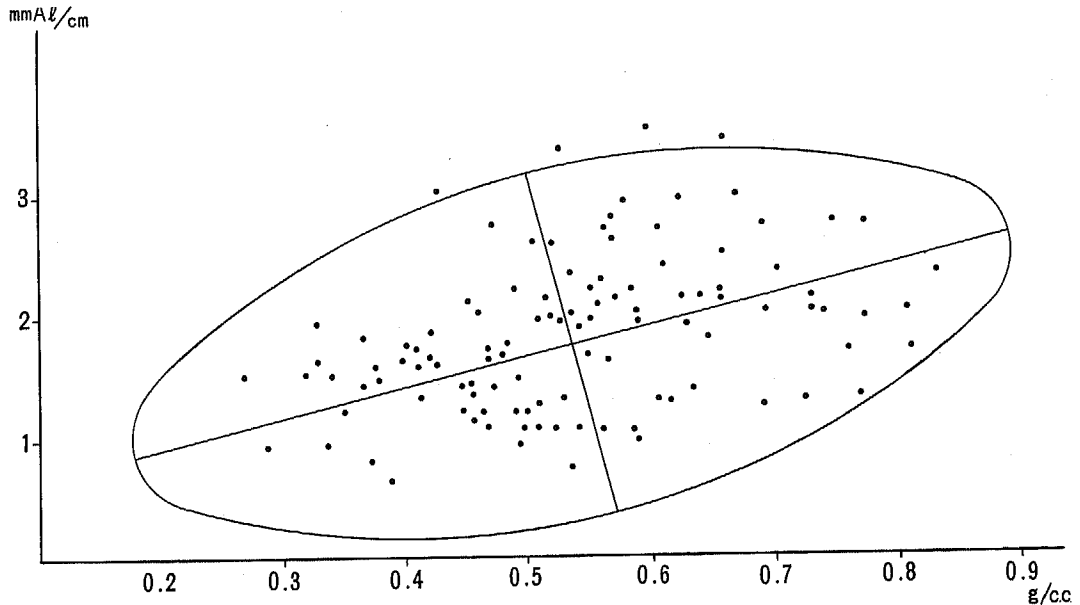


図8 骨格標本の骨密度と骨塩の関係(棄却精円)

4 小 括

男性60体、女性51体の晒した第4腰椎を用いて骨密度と骨塩の測定を行なった。その結果、両者とも各年代では男性より女性の方が低い値を示し、また経年的に漸減する傾向がみられ、減少率は男性より女性の方が著しいことを認めた。また骨密度と骨塩量との間には相関関係が認められた。

IV 生体における骨塩定量の研究

1 測定方法

被検者を走査用寝台に仰臥させ膝を立てて腰椎の前彎を除き、さらにアクリル板で腹部を圧迫して呼吸性動揺を除去し、腹部の厚さを一定とした。走査条件は骨格標本のときと同一とし、走査部位は臍部(ほぼ第4腰椎に相当する)およびその上下各1cmの3カ所で測定し、それぞれの測定値の平均値をアルミ当量に換算し、腰椎の骨塩量(mmAl/cm)とした。

2 正常人の腰椎骨塩の測定

(性別・年代別の比較)

Osteoporosisの診断にあたっては、当然正常人の骨塩量との比較が必要で、著者は正常例として、既往・現在ともに腰部疾患のない男性47例、女性59例について測定を行なった。その年齢分布は70才台の男性を除いて、男女ともに各年代別に7~10名である。測定結果は図9に示すごとくで、各年代の

平均値は表3に示すとおりである。男性では経年的減少の傾向が少ないが、女性では30才代で増加がみられたが、以後経年的に著しい減少を示した。しかし個々の値にはばらつきがあり、個人差の大きいことを物語っている。

3 Osteoporosis 患者の腰椎骨塩量の測定

a Osteoporosis 患者の骨塩量

(年代別・性別の比較)

臨床症状を有し、かつX線像上osteoporosisと診断された患者114例について、X線走査キモグラフィを行なった。測定結果は図10に示すごとくで、114例の内訳および各年代の平均値は表4に示すごとくである。すなわちosteoporosis患者の骨塩量は正常者に比較して低い値を示すものが多いが、女性103例中正常域に入るものが34.9%もみられた。また各年代とも正常例に比して平均値は低いが、70才代ではその差は小さくなっている。

b X線像上のosteoporosis と骨塩量との関係

単純撮影によるX線像上の変化をDrogula(11)の方法に準じて、高度・中等度・軽度の3段階に分け、骨塩量との関係を98例について比較検討した。軽度は脊椎の骨梁減少と辺縁部の相対的な濃度の増加がみられるもの、中等度はさらに進んで骨梁の吸収、減少、椎体の軽度の変形のあるもの、高度は骨梁消失、椎体の変形(魚椎・楔状椎・扁平椎など)の強

脊椎骨粗鬆症の定量的診断法

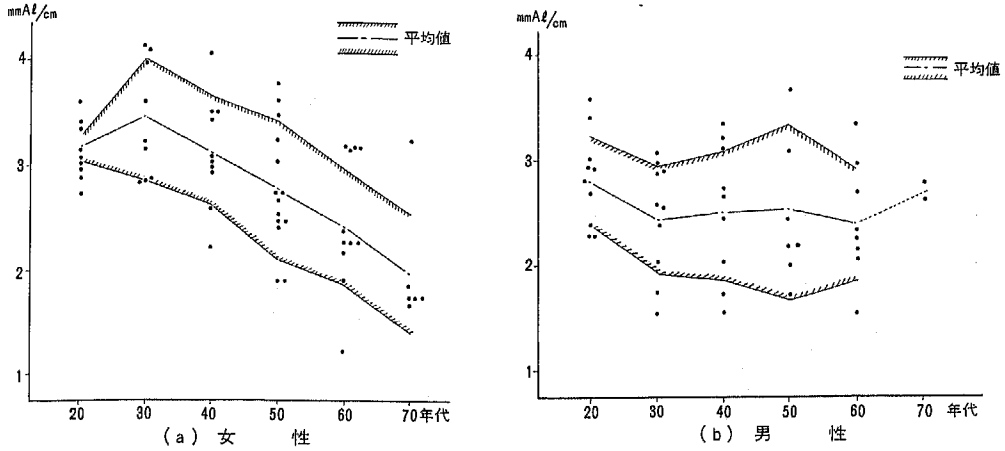


図9 正常人における腰椎骨塩量(年齢別・性別の推移)

表3 正常人腰椎骨塩量平均値(性別・年代別)

	20才代	30才代	40才代	50才代	60才代	70才代
男性	2.86	2.49	2.52	2.56	2.41	—
女性	3.10	3.46	3.12	2.76	2.45	1.99

(単位はmmAl/cm)

表4 Osteoporosis患者の性別・年代別骨塩量平均値

	40才代	50才代	60才代	70才代
女性	1.97(6例)	1.73(44例)	1.52(39例)	1.57(14例)
男性	1.63(11例)			

(単位はmmAl/cm)

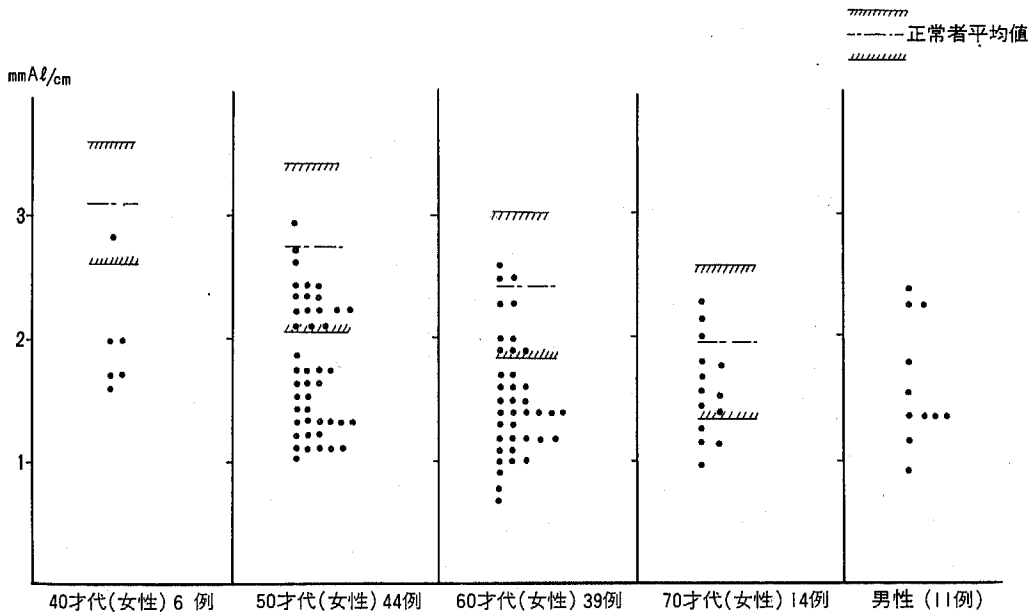


図10 骨粗鬆症患者第4腰椎骨塩量

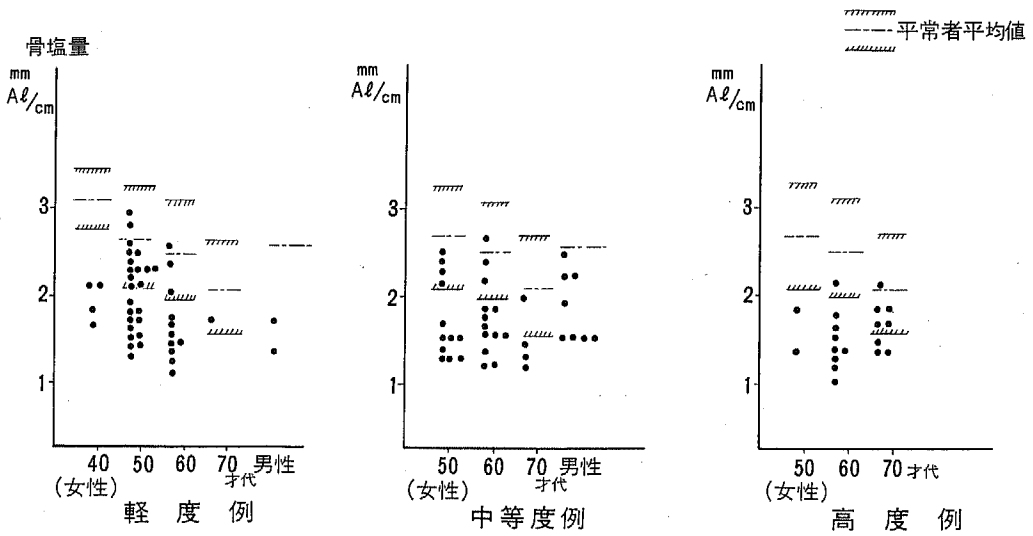


図11 骨粗鬆症の程度と骨塩量との関係

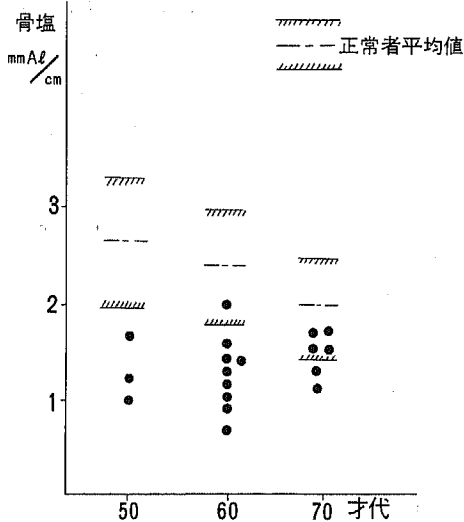


図12 魚椎・扁平椎形成例の骨塩量

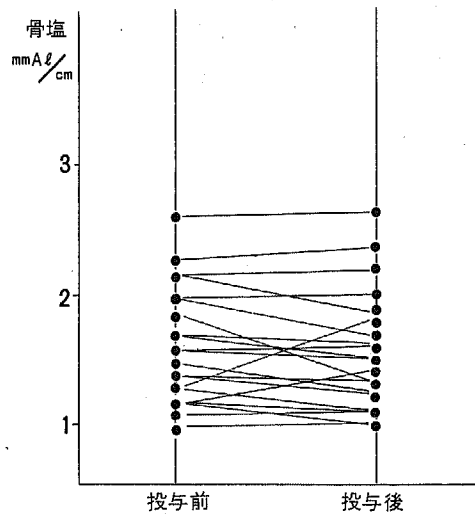


図13 蛋白同化ホルモン投与前後の骨塩量の変動

いものとした。この分類にしたがうと、軽度42例、中等度37例、高度19例である。それぞれの骨塩量の平均値は軽度群1.79、中等度群1.59、高度群1.49mm Al/cmで、椎体の変化が強くなるにつれて骨塩量の減少がみられる(図11)。外傷の影響が考えられる1例を除く高度群18例についてみると、15例は正常範囲より著しく低値を示している。その各年代別平均値は50才代1.33、60才代1.35、70才代1.48である(図12)。

4 蛋白同化ホルモン投与前後の骨塩量の変動

Osteoporosisの疼痛に対する蛋白同化ホルモンの効果はすでに知られている。著者は蛋白同化ホルモンを単独で投与し、投与前後の腰椎の骨塩量を24例について測定した。使用した薬剤は、2-hydroxy-methylen-17 α -methyl-dihydrotestosterone (Anadrol)30mg/day, 1-methylandrostenolone acetate (Primobolan) 10~20 mg/day, ethylnandrol (Orgabolin) 4~12mg/day, methandrostenolone

(Abirol, Nabolin) 10mg/dayの4種類で、投与期間は2カ月とした。骨塩量が $\pm 0.2\text{mmAl/cm}$ 以上変動したものを増減とすると、投与後増加4例、減少7例、不変13例であった(図13)。

5 小 括

正常者の腰椎骨塩量の、各年代の平均値は表3に示したとおりで、骨格標本におけると同様、男女ともに年齢が進むにつれて骨塩量が減少する傾向を認めた。60才代の20才代に対する骨塩の比をみると、男性84%、女性79%で減少率は女性の方が大きい。

Osteoporosis 患者においても、各年代の平均値は表4に示したように、高年になるほど骨塩の減少が認められる。Osteoporosis 患者と正常者の骨塩量を各年代における平均値で比較すると、40才代63%、50才代67%、60才代62%、70才代79%で、各年代とも、osteoporosis 患者は正常者のそれより著しく低い値を示している。しかし70才代では同年代の正常者との差が少なくなり、この年代では大部分が osteoporosis の状態にあると考えられる。

X線像上の変化と骨塩量との関係を見ると、X線像の変化の強い群ほど骨塩量が減少しており、Drogula (11)の分類による osteoporosis 高度群では、大部分が正常範囲より著しい低値を示した。

蛋白同化ホルモンの骨塩におよぼす影響は、24例について2カ月間投与した結果、骨塩の増加を認めたものは4例にすぎず、大部分は不変もしくは減少であった。

V 考 案

1 従来のosteoporosisの診断法とその批判

Osteoporosis の診断法には種々の方法が考えられているが、従来広く行なわれているのはX線像の読影である。以下各種診断法について検討してみたい。

a X線写真による方法

(ア) 単純撮影像の読影による方法

最も普遍的な方法で、骨のX線透過性の増加や骨梁・椎体の形の変化から判定するものである。Drogula (11)はosteoporosisを、軽度・中等度・高度の三段階に分けているが、その判定基準が明瞭にされていない。一般にX線像は撮影条件、現像条件によって左右され、かつまた被検者の状態によっても影響をうけるので、常に一定の像を得ることは困難である。Lachmann (13)はCa保管量の20~40%、Babaianz (5)は50%の減少により、はじめてX線像にosteoporosisとして認められると述べている。また Reifenstein (21)もCa量の30%減少が必要で、

それまでには5~10年かかると述べている。たとえX線像が理想的条件で得られたとしても、微細な減少は表現されない。換言すれば早期発見は困難である。そしてこの方法では、定量的な数値が得られないという大きな欠点をもっている。

(イ) 階段状アルミ板像との対比(Al. step wedge 法)

Al. step wedgeを被検部にならべて同時に撮影し、その濃度を対比する方法である。この方法では対比すべき椎体の陰影は骨梁構造のため、homogeneousでなく、椎体のどの部位と対比すれば良いかわからない。またAl. step wedgeが腸内ガスや骨盤・肋骨・軟部組織の陰影と重なるので、腰椎では適用しにくい。四肢の骨についてはMayo (15)、Meema (17)等をはじめ多くの本法による報告があるが、腰椎についてはCaldwell (10)の屍体の腰椎に関する報告がみられるに過ぎない。

(ウ) Densitometric pattern による方法

X線像をdensitometerにかけてフィルムの黒化度を記録して判定する方法である。Barnett (6)は腰椎側面像について測定し、osteoporosisのある所では波形の山が低く、動揺がみられることを報告している。この方法もその基礎となるものは条件の一定したX線像であり、この点、読影法と同様な欠点がある。

(エ) Index による方法

Barnett (6)(7)はX線像からある種のindexを求めて診断基準にしようとして試みた。すなわち腰椎側面像で椎体の前縁の高さと中央部の高さの比(spinal score)を求め、80%以下をspinal osteoporosisとした。また大腿骨と中手骨では横径に対する骨皮質の厚さの比(peripheral score)を求め、大腿骨と中手骨のperipheral scoreの和が88%以下のものをperipheral osteoporosisとした。その他にperipheral scoreに類するものに、Meema (17)(18)のcombined cortical thickness(橈骨の横径と骨皮質の厚さの比)がある。しかし脊椎のosteoporosisの診断に必要なspinal scoreは、脊椎の変形、換言すれば魚椎の程度を表わすにすぎない。

b Biopsy による診断法

(ア) 骨梁面積と全面積の比(biopsy score)

Beck (8)は腸骨稜からneedle biopsyで得た標本から組織標本を作り、骨梁が占める面積の割合を9段階(9 point score)に分類し、score 5以下をosteoporosisとした。その診断基準により78例のX線像と比較検討したところ、X線像による診断との

間に25%の不一致をみている。なお本法に類似したものは金久保 (12), 若松 (27), Lindahl (14)らの研究がある。

(イ) Bone density の測定

骨の単位体積あたりの骨質 (bone mass) の重量を測定する方法である。立松 (23) は osteoporosis が bone mass の減少によるものであることに着目し、その判定には海綿骨密度 (海綿骨骨梁容積 / 海綿骨全体の容積) の測定が適当な方法であると述べている。Mueller (19) は新生児から85才までの人について単位体積あたりの骨質容積を測定、Trotter (25) は晒した骨について乾燥脱脂骨重量 / 全容積を求めている。また Lindahl (14) は海綿骨の単位体積あたりの重量が osteoporosis をかなり忠実に表わすと述べている。骨灰分に関しては Trotter (24) (25), 立松 (23), Arnold (4), Caldwell (10) 等の研究があり、Trotter (25) は灰分重量 / 脱脂乾燥骨重量は年齢には関係ないと述べている。これらの方法はかなり正確な方法であっても、骨片採取を手術的に行なう必要があり、日常検査としては、いささか不適當であろう。

(ウ) その他の方法

Albright (2) は閉経後の osteoporosis 患者では骨格以外の器官、とりわけ皮膚が萎縮をきたす傾向にあることを指摘している。McConkey (16) は手背の皮膚の厚さと透光性を測定して osteoporeosis と平行していると述べている。しかしこれは随伴症状であって、皮膚で骨塩量を推定することは無理であろう。この他、Weaver (28) は腰椎と踵骨を用いて圧縮力に対する骨片の強さを測定し、骨塩量と密接な関係があると述べている。

c 測定部位の問題

骨塩量の測定には骨盤・四肢等が利用されることが多いが、日常遭遇する osteoporosis は脊椎にもっとも起りやすく、四肢骨の骨塩量から腰椎の osteoporosis の程度を類推することには問題がある。Albright (2), Barnett (6) 等は osteoporosis の発現は脊椎にもっとも多く、かつ海綿骨と皮質骨の骨塩量の間には必ずしも平行関係があるとは限らないとし、Nicholas (20) も臨床上 osteoporosis の発現は脊椎・骨盤に多いと述べている。Meema (17), (18) は皮質骨の骨萎縮と脊椎の osteoporosis の間に密接な相関があるとしながら、osteoporosis を peripheral type と spinal type の二者に区別している。以上のことから脊椎以外の部位が脊椎の変化を忠実に示しているとは必ずしもいえず、脊椎の osteoporosis

の診断にあたって、Caldwell (10), Barnett (6), (7), 精松 (1), 立松 (23) 等が腰椎の骨塩量測定を行なったことは当を得ているといえよう。

2 X線走査キモグラフィーによる診断法の価値

著者は従来の諸方法の欠点を除き、腰椎の骨塩量を数量的に表わす目的で、本法による骨塩測定を試みた。本法の原理はすでに述べたように、一種のX線厚み計で、X線障害の危険もなく、かつ安定して微細な点まで分析することができる、すぐれた方法である。被検部の理想的条件は、1). 軟部組織の影響の少ないこと、2). 呼吸性および拍動性動揺の少ないこと、3). 走査部位を外部から容易に決定しうることなどがあげられる。以上の条件からみると、腰椎は最適な部位とはいえないが、著者は可及的に必要条件を満たすため、前述のような対策を行なった。腰椎における測定は椎体のみに限ることが望ましく、そのためには側臥位で走査すればよいが、腸腰筋を始めとする厚い軟部組織の影響を受けて十分なキモグラムが得られないので、やむなく仰臥位で椎体・椎弓・棘突起などを一体とした骨塩量を測らねばならないという欠点はある。しかし本法は被検者に苦痛を与えることなく、容易な操作で、再現性を持ち、かつ数値的に表現しうる方法で、信頼性の高い方法である。

Sorenson (22) は著者と似た方法で、X線の代りに radio isotope を使い、scintillation detector で受ける方法を考案し、photon-beam-transmission measurement と名づけ、骨塩の微小な変化を発見し、再現性に富んだ信頼しうる方法であると述べている。

VI 結 語

X線走査キモグラフィーによって腰椎の骨塩量を測定し、あわせて従来の osteoporosis の診断法を検討し、本法の利点を確認した。その結果は次のごとくである。

(1) 本法は腰椎骨塩量の測定にあたり、充分利用しうる方法で、従来の方法に比べて容易かつ安全で、しかも数値的に表現しうる。

(2) 腰椎の骨塩量、骨密度は年齢が進むにつれて減少し、減少率は女性の方が大きい。また osteoporosis 患者の骨塩量は正常者に比して低い値を示すものが多い。しかし個人差が大きく、一定の線で正常者と osteoporosis 患者とを区切ることは困難である。

(3) X線像で椎体の変形の著しいものは骨塩量

も著明に減少していた。

(4) Osteoporosis 患者では蛋白同化ホルモンの投与により疼痛は軽減したが、骨塩量の増加は大部分の例において認められなかった。

稿を終るにあたり、終始御指導、御校閲いただいた恩師藤本憲司教授に深く感謝の意を表します。また本研究について直接御指導をいただいた精松紀雄助教授（現名古屋市立大学教授）に感謝の意を表し、御協力いただいた整形外科教室の諸先生、ならびに中央レントゲン室の諸氏に感謝します。また貴重な資料をお貸しいただいた本学第2解剖学教室鈴木誠教授、東京大学解剖学教室に感謝します。

文 献

- 1) 精松紀雄, 田中義也: Osteoporoseの定量的診断法. 整形外科の進歩, 第10集, 骨粗鬆症, 152~161頁, 1966
- 2) Albright, F., Smith, P.H. and Richardson, A.M.: Postmenopausal osteoporosis. *J. A. M. A.*, 116: 2405~2474, 1941
- 3) Atkinson, P.J., Weatherell, J.A. and Weidmann, S.M.: Changes in density of the human femoral cortex with age. *J. Bone Joint Surg.*, 44 - B: 496~502, 1962
- 4) Arnold, J.S.: Quantitation of mineralisation of bone as an organ and tissue in osteoporosis. *Clin. Orthop.*, 17: 167~175, 1960
- 5) Babaiantz, L.: Les ostéopathies atrophiques. *J. Radiol. Elector.*, 29: 333~362, 1948
- 6) Barnett, E. and Nordin, B.E.C.: The radiological diagnosis of osteoporosis. *Clin. Radiol.*, 11: 166~174, 1960
- 7) Barnett, E. and Nordin, B.E.C.: The clinical and radiological problem of thin bones. *Brit. J. Radiol.*, 34: 683~692, 1961
- 8) Beck, J.S. and Nordin, B.E.C.: Histological assessment of osteoporosis by iliac crest biopsy. *J. Pathol. Bacteriol.*, 80: 391~397, 1960
- 9) Broman, G. E., Trotter, M. and Peterson, R.R.: The density of selected bones of the human skeleton. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 16: 197~211, 1958
- 10) Caldwell, R.A. and Collins, D.H.: Assessment of vertebral osteoporosis by radiographic and chemical methods post-mortem. *J. Bone Joint Surg.*, 43 - B: 346~361, 1961
- 11) Drogula, K.H.: Formveränderungen der Wirbelsäule bei Osteoporosen. *Z. Orthop.*, 90: 444~457, 1958
- 12) 金久保和雄: Cortison 投与による実験的骨粗鬆症に関する研究. 日整会誌, 41: 761~775, 1967
- 13) Lachmann, E. and Whelan, M.: The roentgen diagnosis of osteoporosis and its limitations. *Radiology*, 26: 165~177, 1936
- 14) Lindahl, O. and Lindgren, A.G.H.: Grading of osteoporosis in autopsy specimens. *Acta Orthop. Scand.*, 32: 85~100, 1962
- 15) Mayo, K.M.: Quantitative measurement of bone mineral content in normal adult bone. *Brit. J. Radiol.*, 34: 683~698, 1961
- 16) McConkey, B., Fraser, G.M., Bligh, A.S. and Whiteley, H.: Transparent skin and osteoporosis. *Lancet*, i: 693~695, 1963
- 17) Meema, H.E.: The occurrence of cortical bone atrophy in old age and in osteoporosis. *J. Canad. Ass. Radiologist*, 13: 27~32, 1962
- 18) Meema, H.E.: Cortical bone atrophy and osteoporosis as a manifestation of aging. *Am. J. Roentgenol.*, 89: 1287~1295, 1963
- 19) Mueller, K.H., Trias, A. and Ray, R.D.: Bone density and composition. *J. Bone Joint Surg.*, 48 - A: 140~148, 1966
- 20) Nicholas, J.A., Saville, P.D. and Bronner, F.: Osteoporosis, osteomalacia and the skeletal system. *J. Bone Joint Surg.*, 45 - A: 391~405, 1963
- 21) Reifenstein, E.C.: The relationships of steroid hormones to the development and the management of osteoporosis in aging people. *Clin. Orthop.*, 10: 206~252, 1957
- 22) Sorenson, J.A. and Cameron, J.R.: A reliable in vivo measurement of bone mineral content. *J. Bone Joint Surg.*, 49 - A: 481~497, 1967
- 23) 立松昌隆: 骨粗鬆症. 日整会誌, 38: 441~456, 1964
- 24) Trotter, M. and Peterson, R.R.: Ash weight

- of human skeletons in per cent of their dry, fat-free weight. *Anat. Rec.*, 123: 341~358, 1955
- 25) Trotter, M. and Peterson, R.R. : The relationship of ash weight and organic weight of human skeletons. *J. Bone Joint Surg.*, 44 - A : 669~681, 1962
- 26) 梅垣洋一郎, 丸山清, 坂本良雄, 松沢大樹, 中西文子, 藤森仁行, 滝沢正臣 : X線走査キモグラムについて. *臨床放射線*, 7 : 275~286, 1962
- 27) 若松英吉, 金久保和雄, 坂本繁男, 大泉千春, 佐藤光三 : 骨粗鬆症の研究 (第3報). *日整会誌*, 37 : 688~690, 1963
- 28) Weaver, J.K. and Chalmers, J. : Cancellous bone: its strength and changes with aging and an evaluation of some methods for measuring its mineral content. *J. Bone Joint Surg.*, 48 - A : 289~308, 1966

(1971. 9. 30 受稿)