

筋力等と骨密度の関係および運動実践 による骨密度の変化について

	財団法人 北陸体力科学研究所	岡野亮介
(共同研究者)	同	勝木建一
	同	碓井外幸
	同	勝木道夫
	リハビリテーション 加賀八幡温泉病院	宮野正彦
	同	中田勉
	同	山口昌夫

A Study on the Relation Between Muscle Strength and Others and Bone Mineral Density, and the Variation of Bone Mineral Density Through Exercises

by

Ryosuke Okano, Ken-ichi Katsuki,
Sotoyuki Usui, Michio Katsuki

Hokuriku Institute of Wellness and Sports Science

Masahiko Miyano, Tsutomu Nakada, Masao Yamaguchi

Rehabilitation Kaga-yawata Onsen Hospital

ABSTRACT

The purpose of present study was to examine how the bone mineral density (BMD) of lumbar vertebrae and femoral neck was related to the age, physical constitution, muscle strength, blood component, caloric and alcoholic intake, also the variation of BMD, muscle strength and the another through exercises. The healthy adults of both

sex participated in this study.

The results were summarized as follows :

1) It was in men's lumbar vertebrae where the most significant correlation of BMD to other factors was recognized.

2) It was recognized there was a marked tendency to the fact that the physical constitution of men as well as the blood component of women had the higher relative rate of contribution to each BMD.

3) It was recognized there was much less correlation in the study of BMD to blood component, caloric and alcoholic intake compared to that with age, physical constitution and muscle strength, however in the case of women the study suggested some importance in the relativity of BMD to the earlier listed factors combined.

4) It was in the men's lumbar vertebrae where the contribution rate of the other factors to BMD was the highest. It was also considered that in the study of men's lumbar vertebrae the height, ratio of fat, knee extensor strength and back strength held more significance as the factors contributed practically in physical measurement.

5) It was recorded that the annual variation rate was lower in BMD than in muscle strength. It was also recognized that the relativity among the annual variation rates showed significantly positive correlation of the women's body weight (age between 20 and 39) and their knee flexor strength to BMD of lumbar vertebrae, while significantly negative correlation of their knee extensor strength to BMD of lumbar vertebrae.

6) It was recognized there was a tendency for the BMD in lumbar vertebrae to stay the same or even become increased through exercises, however it was supposed the effect would be much less in comparison with the cases of cardio-respiratory function and knee muscle strength. The relation between the variation rates of BMD and those of muscle strength and the another through exercises was still uncertain. Although marked increase in both BMD was observed in man who included bounding exercise and it was suggested that this type of exercise was effective to increase BMD, more careful investigation had to follow to determine its appropriateness.

要 旨

超高齢化が進む中で、骨粗鬆症患者が急増している。また、長距離ランナーを含めた若年女性の間にも低い骨密度が報告されている。骨密度と筋力をはじめとした影響要因との関係を疫学的に調べ、運動実践の効果を求めることで、骨密度低下の防止策にきわめて重要な情報を与えることができると考えられる。

本研究では、健康な成人男女を対象とし、骨密度と年齢、体格、筋力、栄養摂取量およびアルコール摂取量との関連性、骨密度と筋力等との年間変化率間の関連性および運動実践が、骨密度と筋力等へ及ぼす影響について検討した。結果は以下の通りである。

①男性の腰椎骨密度に対して最も多項目で有意な相関性が認められた。

②骨密度に対する相対的貢献度は、腰椎骨密度および大腿骨頸部骨密度とも男性では体格、女性では血中成分が高い傾向であった。

③年齢、体格および筋力と比較して、血中成分、栄養摂取量およびアルコール摂取量では、骨密度と有意な相関の認められた項目は少なかったが、女性においては、それらの統合作用としての重要性が示唆された。

④各部骨密度に対するその他の項目の寄与率は、男性の腰椎で最も高かった。また、男性の腰椎骨密度においては、身長、%fat、膝関節伸展力および背筋力が、実用的測定項目として意義が深いと考えられた。

⑤骨密度の年間変化率は、筋力のそれよりも低値であった。また、女性において腰椎骨密度の変化率と体重(20~39歳)、および膝関節屈曲力のそれらとは有意な正の相関が認められたが、膝関節伸展力のそれとは有意な負の相関が認められた。

⑥運動により腰椎骨密度は、維持あるいはやや

増加する傾向が認められたが、呼吸・循環機能や膝関節の筋力へ対する効果ほどは期待できないと思われた。骨密度と筋力等の運動による変化率間の関係は明瞭ではなかった。また、運動にバウンディングを取り入れた男性では、両骨密度に著しい増加が観察され、その効果が示唆されたが、なお慎重な検討が必要であろう。

緒 言

骨粗鬆症とは、骨の内外のCaの出納バランスが負に傾き、骨密度(骨塩量を骨幅で除した値、以下BMD)が病的に低下し、骨折しやすくなる疾病である。高齢者の寝たきりとなる原因疾患のひとつであり、その予防対策が急がれている。また一方で、近年ダイエットを行っている女子大学生や、無月経症の女子長距離ランナーにも低いBMD値を示す者がいることが報告されており^{16,28)}、若年女性とBMDの関係も注目され始めている。

BMDは加齢・栄養・照射日光量・嗜好品(酒、タバコ等)・Ca調整ホルモン(PTH-Cやカルシトニン等)・女性ホルモン(エストロゲン)および運動等によって、さまざまなレベルで影響を受ける²⁹⁾。これらの要因のBMDへ及ぼす影響度を把握することによって、BMDの低下防止、あるいは高めるための生活指導や運動指導に必要な、きわめて重要な情報が得られると考えられる。また、筋力とBMDの関係を追究することによって、BMDを高めるためにマークすべき筋力の発見、あるいは測定すべき体力測定項目の選定に対して、有益な情報がもたらされることも考えられる。さらに運動実践にともなう、BMDの変化を経時的に追究することによって、骨粗鬆症予防に役立つ運動処方箋作成のための、基礎的資料を得ることができると考えられる。われわれは、前述の情報と資料を得る目的で、以下の研究を行った。

①年齢, 体格, 栄養摂取量, アルコール摂取量, 血中成分および筋力と BMD との関連性を把握する (研究 1)。

②BMD の年間変化率と筋力等のそれとの関連性を調べる (研究 2)。

③運動実践にともなう BMD と筋力等の変化を調べる (研究 3)。

1. 方 法

1.1 被検者

研究 1 では, 腎疾患や骨代謝疾患のない健康な成人男性 34 名 (33.5 ± 8.7 歳, 21 ~ 60 歳, 平均値 \pm 標準偏差と範囲, 以下同じ) と女性 34 名 (34.5 ± 9.5 歳, 23 ~ 51 歳) を対象とした。50 歳代の 2 名の女性は閉経後であった。

研究 2 では, 同様の健康な成人男性 31 名 (34.0 ± 7.7 歳, 23 ~ 47 歳) と女性 23 名 (35.4 ± 8.3 歳, 23 ~ 49 歳) を対象とした。

研究 3 では, 運動群は健康な成人男女 13 名, 非運動群は同様の男女 9 名を対象とした。彼らの年齢, 身長および体重の平均値 \pm 標準偏差は, それぞれ 33.5 ± 7.7 歳, 165.6 ± 5.5 cm, 59.7 ± 8.5 kg と 36.4 ± 9.7 歳, 167.3 ± 10.3 cm, 59.2 ± 11.4 kg で両者に有意な差はなかった。なお各研究の被検者には, 特別な運動選手は含まれていない。

1.2 測定項目

研究 1 では, 体格は身長, 体重, 座高, % fat (キャリパーで求めた上腕背部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚から, 長嶺らの方法で体密度を求め, Brozek らの式により推定²⁷⁾, 除脂肪体重²⁷⁾ (以下 LBM), 大腿中央囲¹⁵⁾ および下腿末端幅¹⁵⁾ であった。1 日当たりの栄養摂取量 (タンパク質摂取量, Ca 摂取量, P 摂取量および糖質摂取量) とアルコール摂取量は, 1 週間の調査より求めた。

血中成分は, 総タンパク (ビューレット法, 以下 TP), Ca (OCPC 法), Pi (酵素法), PTH-C

(RIA 法), カルシトニン (RIA 法, 以下 CT) および AI-P (GSCC 準拠) であった。筋力は左右の握力, 背筋力 (等尺性筋力) および左右の膝関節伸展力・屈曲力であった。膝関節の筋力は, 多用途筋力測定計 (竹井工業機器 (株) 製) を用い, 膝関節 70 度屈曲位より等尺性筋力を求めた。BMD は精度と再現性に優れた DEXA 法⁹⁾ (米国 Norland 社製, Bone Mineral Analyzer XR 26 型使用) により, 腰椎 L2 ~ L4 および左右大腿骨頸部を測定した。これらの測定調査はすべて 1991 年度に行った。

研究 2 では, 1990 年度と 1991 年度に測定した前述部位の BMD と体重, 背筋力および膝関節伸展力・屈曲力を比較対象項目とした。

研究 3 では, 1991 年度から 1992 年度の約 13 ヶ月間にわたって, 経時的に計 5 回前述部位の BMD を, 運動群と非運動群とも測定した。なお運動群は, BMD の計測と同時に背筋力, 左右膝関節伸展力・屈曲力および $\dot{V}_{O_{2max}}$ (最大下運動による推定値) を測定した。筋力の測定は被検者の都合により 11 名であった。また, 実施した概算運動時間を種目ごとに逐次記録させた。

1.3 統計処理

各 BMD および筋力は, それぞれ平均値を分析の対象とした。統計処理は, 単相関分析, 重相関分析, 重回帰分析および T 検定 (両側) を行った。重回帰分析における変数選択では, 危険率 20% 以下をもって統計的に有意として選択の基準とした¹⁹⁾が, そのほかは, すべて 5% 以下をもって統計的に有意とした。また, 研究 1 では被検者の都合により, 男性の血中成分のサンプル数は 33 名, 栄養摂取量とアルコール摂取量のサンプル数は 31 名であった。女性の栄養摂取量のサンプル数は 30 名であった。したがって, 重回帰分析の対象となったサンプル数は, 男性で 31 名, 女性で 30 名であった。

2. 結 果

2.1 研究1

各項目の測定・調査結果を表1に示した。血中成分は2, 3の項目でやや正常値を逸脱している者もいたが、おおむね正常範囲内であった。各部BMDに対する相関係数を表2に示した。男女とも大腿骨頸部BMDよりも腰椎BMDに対しての方が、有意な相関を示す項目が多かった。また、同じ部位のBMDに対しては、男性の方が女性よ

り多項目で有意な相関を示す傾向があった。腰椎BMDに対する各部相関係数は、以下の通りであった。

男性ではすべての筋力に対し、有意な正の相関が認められたが、女性では認められなかった。年齢に対しては有意な負の相関、身長とLBMに対しては、有意な正の相関が男女ともに認められた。血中成分では、男性はPTH-Cと、女性ではAl-Pとのみ有意な負の相関が認められた。栄養摂取量では、女性の糖質摂取量とのみ有意な負の

表1 各測定項目の平均値と標準偏差

測定項目	男 性		女 性	
	M	SD	M	SD
身長 (cm)	170.6	5.0	156.9	5.0
体重 (kg)	66.1	7.1	52.5	6.3
LBM (kg)	55.6	4.9	38.9	4.0
% fat (%)	15.5	3.9	25.8	7.8
座高 (cm)	92.6	2.7	85.9	2.5
大腿中央囲 (cm)	52.3	3.9	49.4	3.8
下腿末端幅 (mm)	73.7	4.7	65.7	3.4
膝関節伸展力 (kg)	75.1	13.0	44.8	7.0
膝関節屈曲力 (kg)	31.8	6.2	18.7	3.2
背筋力 (kg)	132.9	14.6	79.8	12.6
握力 (kg)	49.7	5.8	29.2	3.9
血中TP (g/dl)	7.13	0.26	7.09	0.41
血中Ca (mg/dl)	9.26	0.36	9.05	0.40
血中Pi (mg/dl)	3.49	0.36	3.55	0.38
血中PTH-C (ng/ml)	0.46	0.14	0.49	0.12
血中CT (pg/ml)	31.0	16.6	27.8	13.7
血中Al-P (mU/ml)	185.4	45.3	162.9	36.2
タンパク質摂取量 (g/日)	44.7	20.3	43.2	14.7
Ca摂取量 (mg/日)	427.6	251.0	459.5	196.3
P摂取量 (mg/日)	644.6	285.5	654.2	219.4
糖質摂取量 (g/日)	39.7	22.8	37.2	12.8
アルコール摂取量 (g/日)	22.0	21.8	2.2	3.6
腰椎BMD (g/cm ²)	1.054	0.128	1.008	0.133
大腿骨頸部BMD (g/cm ²)	0.903	0.146	0.811	0.109

M : 平均値
SD : 標準偏差

表2 各部BMDと各パラメータとの相関係数

項目	腰椎BMD		大腿骨頸部BMD	
	男性	女性	男性	女性
年齢	-0.433**	-0.467**	-0.530**	-0.319
身長	0.660**	0.366*	0.551**	0.214
体重	0.373*	0.178	0.439**	0.166
LBM	0.602**	0.349*	0.565**	0.279
%fat	-0.303	-0.113	-0.116	-0.107
座高	0.421*	0.412*	0.291	0.157
大腿中央囲	0.324	0.099	0.478**	0.114
下腿末端幅	0.121	-0.082	0.034	-0.049
膝関節伸展力	0.391*	-0.028	0.240	0.226
膝関節屈曲力	0.453**	0.231	0.359*	0.235
背筋力	0.455**	0.114	0.288	0.080
握力	0.412*	0.258	0.290	0.318
血中TP	-0.055	0.096	0.075	0.175
血中Ca	0.242	0.140	0.422*	0.220
血中Pi	-0.023	-0.196	0.101	-0.023
血中PTH-C	-0.402*	-0.316	-0.355*	-0.302
血中CT	0.145	0.031	0.251	-0.129
血中Al-P	-0.002	-0.443*	-0.176	-0.458**
タンパク質摂取量	0.095	-0.115	0.220	-0.011
Ca摂取量	-0.134	-0.058	-0.029	0.110
P摂取量	-0.016	-0.123	0.123	0.041
糖質摂取量	0.072	-0.349*	0.103	-0.362*
アルコール摂取量	0.207	-0.212	0.053	-0.203

* : P<0.05

** : P<0.01

相関が認められた。

大腿骨頸部 BMD に対する各部相関係数は、以下の通りであった。男性では体格にかかわる 4 項目に対し、有意な正の相関が認められたが、筋力では、膝関節屈曲力と有意な正の相関が認められたにすぎなかった。血中成分では、PTH-C に対しては有意な負、Ca に対しては有意な正の相関が認められた。女性では、筋力と体格に対しては、まったく有意な相関は認められず、糖質摂取量と血中 Al-P に有意な負の相関が認められたにすぎなかった。

体格の相関係数間の比較では、男女の両 BMD とも、体重よりも身長と LBM の方が高い相関を

示す傾向が認められた。また、% fat は有意な相関は認められなかったが、男女とも負の相関を示す傾向であった。座高は男女とも、腰椎に対しては有意な正の相関が認められたが、大腿骨頸部では認められず、また女性の腰椎 BMD を除いて、身長との相関係数よりも低い傾向であった。

栄養摂取量とアルコール摂取量に関して、Ca と P の摂取比をはじめ、各摂取量を一定基準で 2 分して、BMD の平均値を比較してみたが有意な差はなかった。

各 BMD を基準変数とし、前述の諸変数を説明変数として、重回帰分析を行った結果を表 3 に示した。説明変数の選択には Stepwise 法を利用し

表3 各部BMDに対する重回帰分析の結果

(腰椎BMD)	男 性				女 性			
	r	β	A. C	R. C	r	β	A. C	R. C
身長	0.687	0.624	0.428	49.84				
%fat	-0.322	-0.204	0.065	7.63				
座高					0.365	0.345	0.125	19.76
膝関節伸展力	0.350	0.178	0.062	7.24	-0.017	-0.260	0.004	0.69
膝関節屈曲力	0.458	0.196	0.089	10.43				
握力					0.308	0.454	0.139	21.95
血中PTH-C	-0.404	-0.376	0.151	17.66				
血中TP	0.004	0.117	0.0004	0.05				
血中Ca					0.133	0.235	0.031	4.90
血中Al-P					-0.437	-0.604	0.263	41.43
血中CT					0.024	0.253	0.006	0.95
アルコール摂取量	0.270	0.284	0.058	6.83	-0.212	-0.303	0.064	10.08
重相関係数	0.927				0.798			
決定係数	0.860				0.637			
F 値	20.21**				5.52**			
(大腿骨頸部BMD)	r	β	A. C	R. C	r	β	A. C	R. C
年齢	-0.533	-0.296	0.157	23.51				
身長	0.590	0.331	0.195	29.10				
大腿中央囲	0.379	0.251	0.095	14.17				
握力					0.333	0.427	0.142	25.66
血中PTH-C	-0.351	-0.389	0.136	20.34				
血中Ca	0.431	0.198	0.085	12.71	0.196	0.376	0.073	13.17
血中Al-P					-0.481	-0.572	0.275	49.63
アルコール摂取量					-0.203	-0.203	0.061	11.17
重相関係数	0.819				0.744			
決定係数	0.671				0.554			
F 値	10.23**				7.77**			

r: 相関係数

** : P < 0.01

β : 標準偏回帰係数

A. C: Amount of contribution (貢献量)

R. C: Rate of contribution (相対的貢献度 単位は%)

たが、多重共線性が加わらない点と、BMDを説明する上で排除し得ない点を配慮した¹⁹⁾。また、基準変数と説明変数の相関係数と標準偏回帰係数の積和が、重相関係数の2乗であることから、基準変数と各説明変数の積を貢献量とし、その貢献量の重相関係数に対する割合を相対的貢献度とした¹⁷⁾。

男性の腰椎 BMD に対しては、身長、% fat、膝

関節伸展力・屈曲力、血中 PTH-C、血中 TP およびアルコール摂取量が独立して関与していた。標準偏回帰係数の符号は、% fat と PTH-C は負で、ほかは正であった。貢献度は身長と PTH-C が大きい傾向であった。女性では座高、膝関節伸展力、握力、血中 Ca、血中 Al-P、血中 CT およびアルコール摂取量が負で、ほかは正であった。貢献度は血中 Al-P、握力および座高が高い傾向で、

膝関節伸展力と血中CTのそれは、無視し得るほど低値であった。また寄与率は男性 86.0% に対し女性 63.7% であった。

大腿骨頸部 BMD では、男性側で独立して関与していた変数は、年齢、身長、大腿中央囲、血中 PTH-C および血中 Ca であった。年齢を選択したのはこの部位のみであった。標準偏回帰係数の符号は、年齢と血中 PTH-C が負で、ほかは正であった。貢献度は身長、年齢および血中 PTH-C が大きい傾向であった。女性では握力、血中 Ca、血中 AI-P およびアルコール摂取量が独立して関与しており、体格の関与はなかった。標準偏回帰係数の符号は、血中 AI-P とアルコール摂取量が負で、貢献度は血中 AI-P とアルコール摂取量が大きい傾向であった。寄与率は男性 67.1% に対し女性 55.4% で、腰椎と同様、男性の方が大きい傾向であった。また男女とも、腰椎への寄与率が

大腿骨頸部へのそれより大きい傾向であった。さらに累積した相対的貢献度では、両 BMD とも男性では体格（腰椎 57.47%、大腿骨頸部 43.27%）、女性では血中成分（腰椎 47.28%、大腿骨頸部 62.80%）が大きい傾向であった。

栄養摂取量、アルコール摂取量および血中成分は、BMD を考察する上で必要不可欠の要素であるが、調査や定量に多くの時間、費用および技術等を必要とし、調査・測定項目としての実用的尺度としては、不適切と思える。その意味で、実用的尺度として重要と考えられる年齢、体格および筋力のみを説明変数として、重回帰分析を行った。その結果を表 4 に示す。

寄与率は男女とも低下するが、その傾向はとくに女性に著しかった（腰椎 63.7 → 33.4%、大腿骨頸部 55.4 → 11.1%）。したがって、男性の方がかなり大きい寄与率を持つ傾向で、とくに腰椎の寄

表 4 各部BMDに対する重回帰分析の結果（実用的変数のみ）

説明変数	男 性				女 性			
	r	β	A. C	R. C	r	β	A. C	R. C
年 齢					-0.399	-0.673	0.268	80.39
身 長	0.687	0.565	0.388	54.82				
体 重					0.163	0.366	0.059	17.86
%fat	-0.322	-0.406	0.130	18.46				
膝関節伸展力	0.350	0.185	0.064	9.14	-0.017	-0.321	0.005	1.63
背筋力	0.468	0.263	0.123	17.38				
重相関係数	0.841				0.578			
決定係数	0.701				0.334			
F 値	15.81**				4.36*			
(大腿骨頸部BMD)	r	β	A. C	R. C	r	β		
年 齢	-0.454	-0.349	0.158	27.84				
身 長	0.687	0.386	0.265	46.60				
大腿中央囲	0.275	0.369	0.101	17.83				
下腿末端幅	-0.052	-0.280	0.014	2.55				
握 力					0.333	0.333		
重相関係数	0.754				0.333			
決定係数	0.569				0.111			
F 値	8.60**				3.50 NS			

NS : Not Significant

* : P < 0.05

** : P < 0.01

与率は統計的にも高値 (70.1%) であった。選択された変数の相対的貢献度は、男性の腰椎 BMD では身長、% fat および背筋力が高く、大腿骨頸部 BMD では身長、年齢および大腿中央囲が高い傾向であった。女性の大腿骨頸部 BMD は、選択された変数は握力のみであり、F 値に有意な水準はなかった。

2.2 研究2

1990 年度と 1991 年度の各項目の測定結果と、1990 年度を基準にした年間変化率を表 5 に示した。男女とも BMD の年間変化率に有意な水準はなかった。年間変化率の絶対値を BMD と筋力とで比較すると、男女とも筋力の方が大きい傾向で、とくに男性の腰椎 BMD と背筋力 ($P < 0.01$)、大腿骨頸部 BMD と膝関節伸展力 ($P < 0.05$) および背筋力 ($P < 0.01$) に有意な差が認められた。女性では両 BMD とも、膝関節伸展力 (両方とも $P < 0.05$) に有意な差が認められた。

また、各 BMD の年間変化率とほかのパラメータのそれとの相関性を求めてみると、男性ではどの年代のどの項目に対しても、有意な相関係数は

認められなかった。しかし女性では、20 ~ 39 歳 ($N = 15$) で、腰椎 BMD と体重の変化率に有意な正の相関 ($r = 0.527$ $P < 0.01$) が認められた。また、全年代 ($N = 23$) で、腰椎 BMD と膝関節屈曲力の変化率に有意な正の相関 ($r = 0.480$ $P < 0.05$) が認められたが、逆に膝関節伸展力の変化率との間には有意な負の相関 ($r = -0.422$ $P < 0.05$) が認められた。大腿骨頸部 BMD の変化率との間には、有意な相関係数は認められなかった。

2.3 研究3

運動群の行った運動内容は、被検者によって異なるが、歩行、ランニング、固定式自転車によるサイクリング、水泳、野外でのサイクリング、助木昇降運動、ウエイトトレーニング、エアロビクス、バウンディング、少林寺拳法および球技類等であった。約 13 ヶ月間の概算合計運動時間は、 6330 ± 3257 分 (平均値 \pm 標準偏差、範囲は 2709 ~ 13089 分) であった。

運動群と非運動群の各初回測定値を表 6 に示した。また、初回測定値を基準とした BMD の変化

表 5 各年度の測定値と年間変化率

測定項目		男 性			女 性		
		1990年度	1991年度	変化率 (%)	1990年度	1991年度	変化率 (%)
体 重 (kg)	M	66.2	66.5	0.53	54.0	53.9	-0.35
	SD	7.1	7.1	2.24	5.2	6.4	4.30
腰椎BMD (g/cm ²)	M	1.047	1.048	0.17	0.999	0.998	-0.14
	SD	0.131	0.128	3.05	0.132	0.137	2.91
大腿骨頸部BMD (g/cm ²)	M	0.905	0.902	-0.08	0.802	0.805	0.47
	SD	0.160	0.149	3.94	0.117	0.119	2.98
膝関節伸展力 (kg)	M	72.9	75.4	4.98	41.1	45.0	10.40
	SD	16.1	13.3	13.31	6.1	6.5	14.29
膝関節屈曲力 (kg)	M	32.2	31.9	-0.23	18.3	18.6	2.27
	SD	6.7	6.4	10.69	3.4	3.2	18.99
背筋力 (kg)	M	144.6	132.6	-7.61	83.3	79.2	-4.30
	SD	21.2	15.1	7.25	15.0	14.1	17.12

M : 平均値
SD : 標準偏差

表6 運動群と非運動群の各初回測定値

測定項目	運動群		非運動群	
	M	SD	M	SD
腰椎BMD (g/cm ²)	1.043	0.110	0.995	0.167
大腿骨頸部BMD (g/cm ²)	0.875	0.145	0.778	0.119
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	46.3	7.3		
膝関節伸展力 (kg)	63.9	16.6		
膝関節屈曲力 (kg)	29.3	6.6		
背筋力 (kg)	136.2	40.9		

M: 平均値
SD: 標準偏差

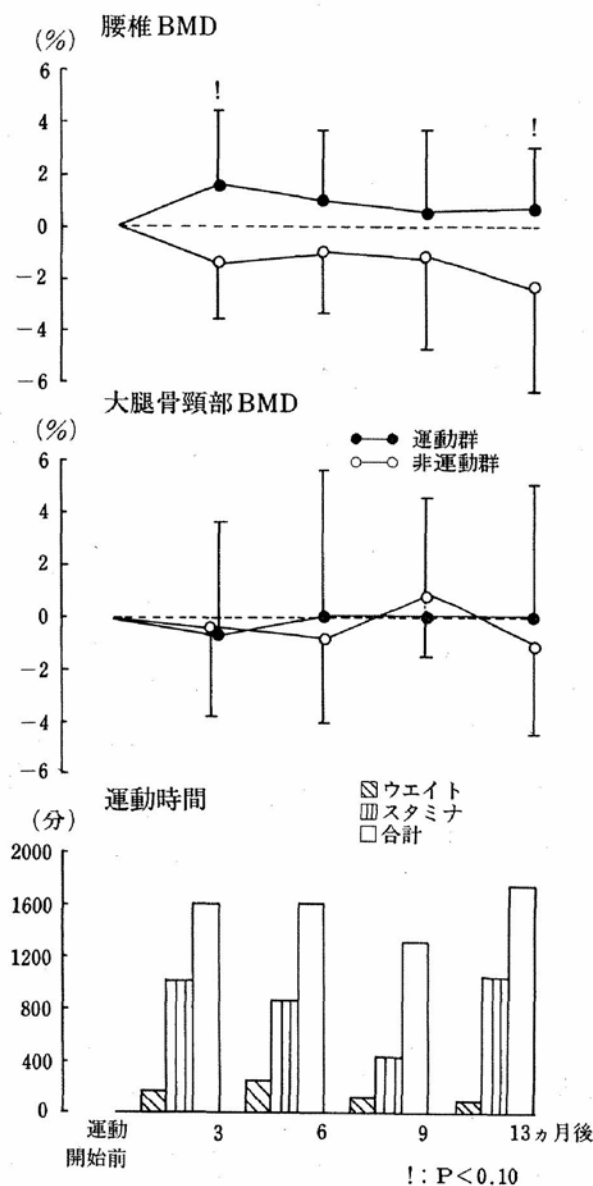
率の平均値と標準偏差, および各期間の運動時間の平均値の推移を図1に示した. なお, 運動時間は主として, 荷重負荷が大きくかかる種目に費した時間(ウエイト), 主としてスタミナの向上に関連した種目に費した時間(スタミナ), および合計運動時間(合計)に分類して図示した.

腰椎 BMD の変化率の平均値は, 運動群では3ヵ月目から初回値より増加, 非運動群では減少の傾向で, 両群間の差は3ヵ月目と13ヵ月目に危険率10%以下の確率で大きかった.

一方大腿骨頸部 BMD は, 運動群では3ヵ月目にやや低下したが, 以後はほとんど変動を示さなかった. 非運動群では経時的にやや増減する傾向がうかがわれた. しかし各時期に両群間で有意な差はなかった. 運動による BMD の変化の方向は, 大腿骨頸部よりも腰椎の方が明瞭と思われた. また, 運動群の BMD の変化率の大きさは, どの時期においても大腿骨頸部よりも腰椎の方が大きい傾向であった. 運動時間の平均値の増減パターンと, 比較的変動の認められた腰椎 BMD の変化率の平均値のそれとを比較すると, 合計運動時間では6ヵ月目に矛盾があったが, スタミナの時間とは平行な関係にあった.

$\dot{V}O_{2max}$ および筋力と, BMD の変化率の平均値と標準偏差の経時的推移を図2に示した. $\dot{V}O_{2max}$ では3ヵ月目, 膝関節伸展力では3, 6および13ヵ月目に有意な増加が認められたが, 両 BMD の

変化率に有意な水準は認められなかった. また, 変化率の平均値の増減パターンは, 大腿骨頸部 BMD に関しては, どの項目とも平行な関係は認められなかったが, 腰椎 BMD では, $\dot{V}O_{2max}$ と背筋力にその関連性が認められた. しかし両項目とも BMD の変化率間の相関係数は, どの時期



ウエイト: 筋力トレーニング, バウンディング
および筋木昇降運動に費した時間
スタミナ: ランニング, 固定式自転車によるサイクリング, 野外でのサイクリング
およびエアロビクスに費した時間
合計: 合計運動時間

図1 各部 BMD の変化率と運動時間の経時的変動

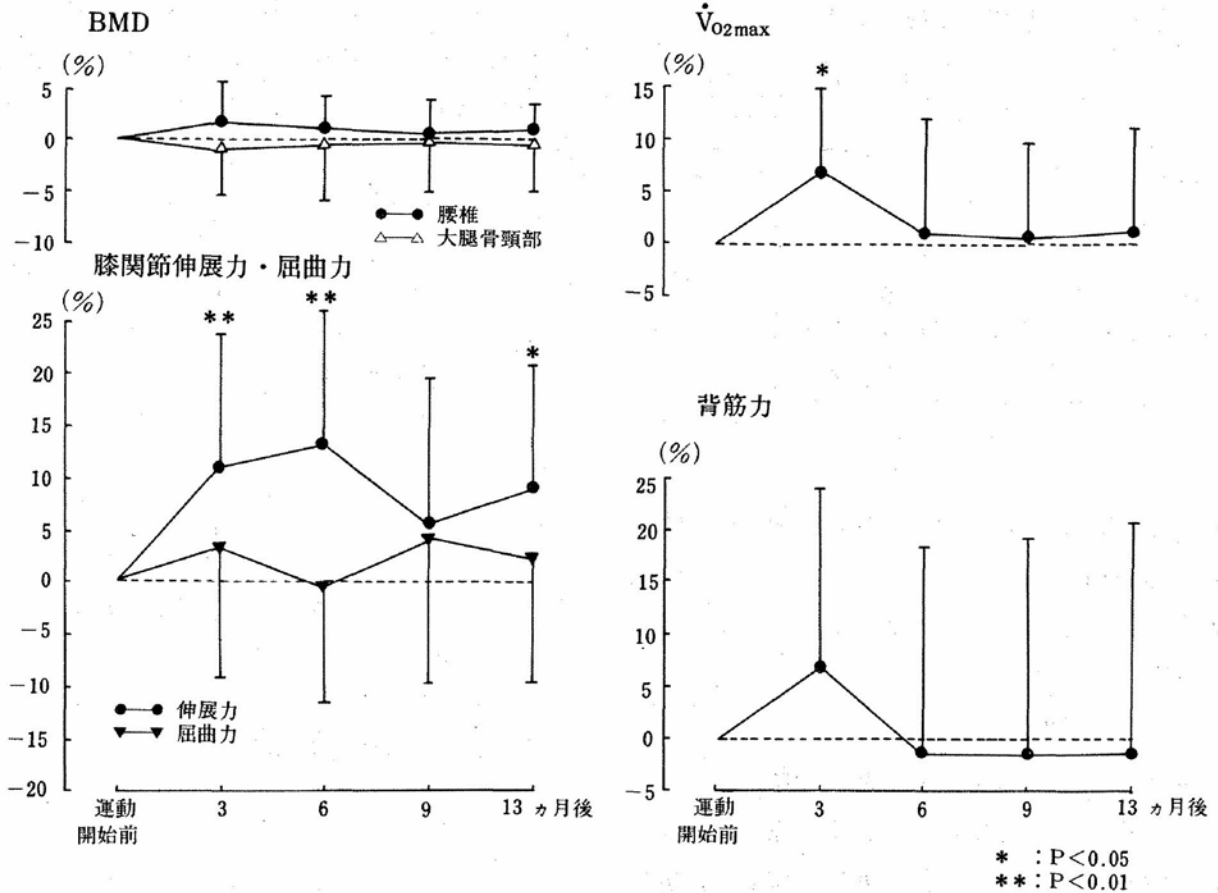


図2 運動群のBMDと各パラメータの経時的変動の比較

においても有意な水準は認められなかった。

運動にバウンディングを多時間取り入れた男性(42歳)の例を図3に示した。図1と比較して、両BMDの各時間の増加の程度は顕著に大きかった。

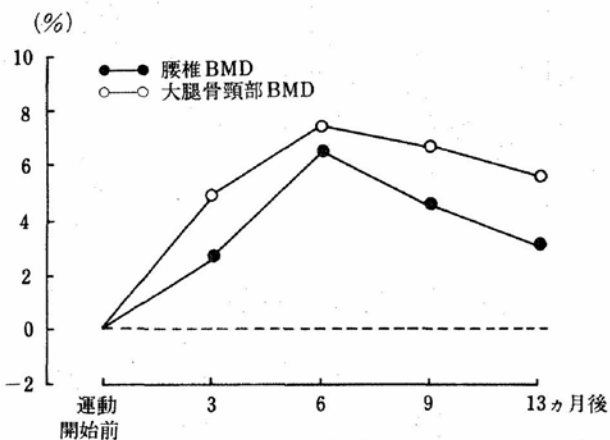


図3 運動にバウンディングを取り入れた男性の例

3. 考 察

3.1 研究1.2から

BMDと年齢、体格および筋力との間に、中程度の有意な相関性が認められることは数多く報告されている^{1,6,7,20}。今回の研究でもその傾向はうかがわれ、その傾向は腰椎BMDの方が強かった。これは大腿骨頸部と比較して、腰椎が骨代謝回転の著しい海綿骨を含む相対的割合が多いためと推察される^{5,20}。

体格とBMDとの関係では荷重負荷が骨形成を促進することから^{2,24}、体重とBMDの正の相関はよく知られているが、今回の結果では体重以上に、LBMおよび身長の方が相関係数は高い傾向であり、% fatとは負の相関傾向を示した。% fatとLBMのこの変化の方向は、運動によって促進されるものでもある。

日常の歩行量が多いほど、また、過去の運動時間が多いほど、BMDは高いという報告⁷⁾もあり、運動が習慣化され、筋肉質な体型となった結果、BMDも高まっている可能性が考えられた。また、同時にBMDを評価する際に、体組成を重視することの必要性も示唆された。ただし女性の場合は、アンドロゲンからエストロゲンへの変換に脂肪が必要で¹³⁾、正常な月経が維持されるのに22%以上の% fatが必要である^{3,12)}ことを考え合せた時、運動によって% fatが低下すれば良いというわけにはいかず、その程度を考慮して、慎重に対処しなければならないであろう。なお、身長とBMDとの関係を座高を利用して追究したが、明らかにはできなかった。

BMDと筋力との関係は、筋肉の起始部と停止部、発揮した筋力の骨への伝達経路、および筋力の発揮様式の違い等から、関連を持つ筋力とBMDの部位が異なる。筆者らの以前の研究では²⁰⁾、大腿骨頸部と腸腰筋の関係から、上体おこしの回数と高い相関が認められたが、本研究で測定した筋力と大腿骨頸部BMDとはあまり関連性がなかった。筋力測定は、測定したすべての項目と有意な相関が認められた、男性の腰椎BMDに対して意義がある。

血中成分とBMDとの関係は、PTH-Cは骨吸収の促進作用²⁰⁾、CTとエストロゲンは骨吸収の抑制作用がある²⁰⁾。AI-Pは骨形成の指標であり¹⁸⁾、骨粗鬆症患者においては、正常値を示すのが通常であるが、骨の代謝回転が亢進している時は増加をみる²⁰⁾。本研究ではPTH-C、AI-PおよびCaが有意ではあるが、弱い相関性を示したにすぎず、正常範囲内の血中成分のBMDへの反映度は、単体としては顕著ではないと思われた。

栄養摂取量では、骨の大部分がタンパク質、CaおよびP等で構成されている²⁰⁾ことや、糖質を過剰摂取した時に、骨からの脱カルシウム現象が生じてしまうため²⁵⁾、これらの摂取量が問題となる。

また、アルコール摂取量は、過剰摂取した時に、Caの小腸から骨への吸収が阻害されるため問題となる⁴⁾。BMDとこれら摂取量との相関は、女性の糖質摂取量とBMDとの間に有意ではあるが、弱い負の相関が認められたにすぎなかった。またCaとPの摂取比(理想的には1:1~1:2)²⁶⁾や、他の摂取量を一定基準で2分してBMDを比較しても、有意な差はなかった。

これらの結果は、血中成分と同様、横断的で単体としての栄養摂取量やアルコール摂取量は、BMDとの関連性をとらえ難いことを示唆している。血中成分、栄養摂取量およびアルコール摂取量とBMDとの関係をつかむには、それらの要素の単体としての作用ではなく、複合体としての作用を調べ、そしてその観察を長期に縦断的に続ける必要があると思われた。

単相関分析の結果を参考に、重回帰分析を行った結果では、男性の腰椎BMDに関しては、得られた変数からの寄与率は高く、説明と予測の十分可能なものであった。貢献度は体格(身長と% fat)が最も高いと解釈された。血中TPの貢献度はほとんど無視されると思われた。

アルコール摂取量は、正の影響力をもって選択されたが、本研究の被検者の摂取量はあまり多い方ではなく⁴⁾、アルコールの食欲促進作用から男性の場合、度を超さない程度の摂取は、むしろプラスに作用するのかもしれない。しかし女性のBMDに対しては、負の影響力を持つ変数として選択されており、合理的であった。

摂取量の平均値は、男性よりもはるかに少なく、過半数が非飲酒者であった。この影響力の方向性の差異が性差によるものなのか、摂取量の違いによるものなのかは明瞭ではないが、今後対象を変えて、さらに検討を重ねていきたい。なお、選択された変数とその貢献度から、男性の腰椎BMDの増加のために考えられる運動トレーニング上の留意事項としては、トレーニングの種類、

強度および時間を% fatの減少に結びつくように設定すること、およびトレーニングに膝関節の筋力を強化する運動を組み入れることを、あげることができるであろう。

また、実用的項目のみを説明変数とした時の寄与率も十分に高く、BMDを考慮した身体測定・体力測定項目として身長、% fat、膝関節伸展力、および背筋力をあげることができる。

大腿骨頸部BMDに関しては、体格に加えて、年齢と血中成分の関与がうかがわれたが、体格の貢献度が最も大きい傾向であった。大腿中央囲との関係は、筋の発達と関連しているものと推察された。実用的測定項目としては、身長と大腿中央囲をあげることができるが、下腿末端幅は、貢献度の低さのためこれに含めることはできない。

女性のBMDに関しては、両部位とも男性ほどの寄与率の高さはなかった。これは今回は測定しなかったが、女性ではエストロゲンがBMDに強く関与し^{2,5,29)}、これを変数に含めていないためと予想される。また、実用的変数のみを説明変数とした時の寄与率は、両BMDに対しても低い値で、選択された変数を実用的項目として利用することはできない。また、逆にこの時の寄与率の低下の大きさは、女性における血中成分、栄養摂取量、およびアルコール摂取量の統合作用としての影響力の大きさも示唆するものである。

BMDに対する貢献度でも、両部位とも血中成分の関与は高いと解釈された。また腰椎BMDに対する膝関節伸展力は、ほぼ無視し得ると思われた。また、両BMDとも握力が21～25%の貢献度を持って関与していたが、その機序は明らかではない。Sinakiら²³⁾も腰椎BMDと握力との相関性は認めている。握力は、実用的価値の高い項目だけに、今後もBMDとの関連性を追究していく必要がある。

また男女とも、説明変数の寄与率は、大腿骨頸部に対してよりも、腰椎BMDに対しての方が大

きい傾向で、予測を目的とした時の外的基準は、腰椎BMDを選んだ方が有意義と思われた。

つぎに各BMDと筋力、および体重の年間変化率との関係では、女性の腰椎BMDに認められた体重、および膝関節屈曲力との正の相関は、合理的であったが、膝関節伸展力との負の相関は合理的ではなかった。しかし、重回帰分析では、腰椎BMDに対する貢献度は、無視できるほど小さいことが指摘できている。また両者の変化率の大きさの差異も、今回の結果を生み出した原因のひとつとして考えられる。また、研究1の単相関分析の結果とは矛盾して、男性の変化率で有意な相関の認められた項目はなかった。

後天的影響を受けて形成されるBMDと筋力等は、ある時点の横断面においては、その関連性にある程度の高さが認められるが、縦断的に両者の関連性を把握しようとした時、一年間という期間は、BMDの変化率からしてもあまりに短かすぎるのであろう。さらに長期にわたって観察する必要がある。

3.2 研究3から

運動のBMDへ及ぼす影響を追究した研究は数多くある^{14,21,26)}。おおむね増加することを報告しているが、減少の報告もある²²⁾。有意な増加を報告した研究では、年単位の長期観察をした場合が多い^{14,26)}。短期間でも激運動の時には、有意な増加を報告している¹¹⁾が、脛骨の疲労骨折の発生までも観察されており、その運動内容に実用性の意味はない。

本研究においては、非運動群の変化と比較すると、腰椎BMDは運動によって維持されるか、やや増加傾向にあると結論づけられる。腰椎の方に比較的大きな変化が生じたのは、この部位の海綿骨が占める割合が相対的に多いためであろう^{5,29)}。足の骨では、運動による荷重ストレスをもっと受けやすい脛骨、腓骨、あるいは中足骨¹⁰⁾をマークする方が良いのかもしれない。

スタミナにかかわる運動時間の平均値の変動と、腰椎 BMD の平均値のそれとの関係では、荷重負荷としては弱い、その時間が長ければ BMD の増加につながると思われた。その意味では長い時間をかけた歩行、ジョギングおよびサイクリング等を勧めることができる。しかし、最近では BMD へ対する運動の質的問題として、「パワーアップ型の運動」が勧められている^{8,30)}。本研究でも BMD の増加の最も著しかった 1 人は、跳躍種目のトレーニングに用いられる、バウンディング運動を多時間取り入れた例であった。しかし、バウンディングを含めて、パワーアップタイプの運動は、高齢者、肥満者および足関節等へ障害のある者には勧めることはできない。このタイプの運動としては、なわとびやスクワット運動を考える方が無難であろう。

BMD と他のパラメータの変動の大きさの比較から、BMD に対する運動の効果を期待する時、呼吸・循環機能や、膝関節の筋力へ与える効果ほど期待できないことも示唆された。

また、腰椎 BMD と $\dot{V}O_{2max}$ 、および背筋力の変動の関連性は、平均値では変動の類似性が認められたが、相関係数には有意な水準は認められていないため、不明瞭と言わざるを得ない。横断的な相関分析の結果とは、やや異なる面もあり、BMD と他のパラメータの加齢変化の大きさの違いや、運動に対する被刺激性を考慮して、さらに検討を重ねていきたい。

4. まとめ

腰椎および大腿骨頸部の BMD と年齢、体格、筋力、血中成分、栄養摂取量およびアルコール摂取量との関連性、ならびに運動実践にともなう BMD と筋力等の変化を検討した。最も多項目で有意な相関性の認められたのは、男性の腰椎 BMD に対してであった。重回帰分析でも、男性の腰椎 BMD に対するその他の項目の寄与率は最

デサントスポーツ科学 Vol.14

も高く、またこの BMD においては、身長、% fat、膝関節伸展力および背筋力が、実用的測定項目として有意なことが示唆された。

また、BMD に対する各項目の相対的貢献度では、両 BMD とも、男性では体格、女性では血中成分が大きい傾向であり、さらに女性の BMD に対する血中成分、栄養摂取量およびアルコール摂取量の統合作用としての重要性も示唆された。

BMD の年間変化率は、筋力のそれと比較して低い傾向であった。女性において、腰椎 BMD の変化率と体重 (20 ~ 39 歳)、および膝関節屈曲力のそれらとは、有意な正の相関が認められたが、逆に、膝関節伸展力のそれとは有意な負の相関が認められた。

運動実践にともない、腰椎 BMD は維持、あるいはやや増加する傾向がうかがわれた。しかし、 $\dot{V}O_{2max}$ や膝関節伸展力に認められるほどの効果は、期待できないと思われた。運動にバウンディングを取り入れた例では、両 BMD とも大きく増加し、荷重負荷の強くかかる運動の効果も示唆されたが、対象の特性や、安全性を考慮した種目の選択の必要性も論議された。

謝 辞

本研究において、BMD の計測に宮野正彦氏と中田 勉氏 (リハビリテーション加賀八幡温泉病院) の協力を頂いた。また、研究 1, 2 の実験に、碓井外幸氏と勝木道夫 (財団法人 北陸体力科学研究所) の援助を頂いた。深謝の意を表すとともに、共同研究者として追記する。

文 献

- 1) Bevier, W. C., Wiswell, R. A., Pyka, K., Kozak, K. C., Newhall, K. M. Marcus, R.; Relationship of body composition, muscle strength, and aerobic capacity to bone mineral density in older men and women, *J. Bone Miner. Res.*, 4 (3), 421-432 (1989)
- 2) Dalsky, G. P.; Effects of exercise on bone:

- permissive influence on estrogen and calcium, *Med. Sci. Sports exerc.*, **22** (3), 281-285 (1990)
- 3) Frish, R. E.; Menstrual cycles: Fatness as a determinant of minimum weight for height necessary for their maintenance or onset, *Science.*, **185** (13), 949-951 (1974)
 - 4) 藤田拓也;更年期からの女性に多い骨粗鬆症, 主婦の友社, 東京, 193-194 (1990)
 - 5) 福林 徹, 目崎 登, 下條仁士, 宮永 豊, 進藤 さよ, 西野仁樹;女子運動選手における月経異常と骨塩濃度の関連, *臨床スポーツ医学*, **8** (7), 815-819 (1991)
 - 6) 東野十三雄, 山崎節正, 澤井一彦, 林 一成, 小林章雄, 渡辺丈眞, 中田昌敏, 山本正都, 丹羽滋郎;中高年女性における骨塩量と筋力との関係について, *臨床スポーツ医学*, **8** (8), 875-881 (1991)
 - 7) 勝木道夫, 岡野亮介, 勝木健一, 三井外喜和, 碓井外幸, 花山耕三, 山口昌夫;骨密度に関する基礎的研究1—身体各部のBMDの相関および運動量との関連, *体力科学*, **39** (6), 460 (1990)
 - 8) 小池達也, 佐藤哲也, 朴 一男, 島津 晃;運動による骨量改善には瞬発力が持久力強化よりもすぐれている—長短距離陸上選手の比較より, *日本骨代謝学会雑誌*, **9** (3), 224 (1991)
 - 9) 近藤洋司, 黒田他寿子, 堂下雅雄, 北出真寿美, 平加保彦, 宮野正彦, 中田 勉;骨密度測定におけるDEXA法の精度, *日本放射線技師会雑誌*, **39** (7), 766-769 (1992)
 - 10) 黒田善雄, 中島寛之, 高沢晴夫, 吉松俊一;臨床スポーツ医学, *メディカル葵出版*, 東京, 339-342 (1985)
 - 11) Margulies, J. Y., Simkin, A., Leichter, I., Bivas, A., Steinberg, R., Giladi, M., Stein, M., Kashtan, H., Milgrom, C. ;Effect of intense physical activity on the bone-mineral content in the lower limbs of young adults, *J. Bone Joint surg.*, **68-A**, 1090-1093 (1986)
 - 12) 目崎 登;スポーツによる月経異常の問題点, 指導者のためのスポーツジャーナル, **148**, 16-18 (1992)
 - 13) 目崎 登, 佐々木純一, 庄司 誠, 岩崎憲和, 江田昌佑;大学運動選手の月経現象, *日本産婦人科学会雑誌*, **36** (2), 247-254 (1984)
 - 14) 中塚喜義, 西沢良記;運動療法, *日本臨床*, **48** (12), 203-211 (1990)
 - 15) 名取礼二, 横堀 栄, 小川義雄, 木村邦彦;最新体力測定法, 同文書院, 東京, 101-104 (1970)
 - 16) 丹羽ひろみ;現代人に忍び寄る骨粗鬆症, *日経ウエルネス特別版* 1992, 日経BP社, 東京, 56-61 (1992)
 - 17) 野村照夫, 松浦義行;水泳パフォーマンスに関する能力の抽出とその相対的貢献度, *体育学研究*, **31** (4), 293-303 (1987)
 - 18) 萩野 浩, 賀川 武, 岸本英彰, 倉信耕爾, 中村達彦, 山本吉蔵;縦断分析による閉経前後女性の橈骨骨量低下の検討, *日本整形外科学会雑誌*, **64** (2), 164 (1990)
 - 19) 大澤清二, 稲垣 敦, 菊田文夫;生活科学のための多変量解析, 家政教育社, 東京, 25-45 (1992)
 - 20) 岡野亮介, 勝木建一, 碓井外幸, 勝木道夫, 花山耕三, 山口昌夫;骨密度と筋力および大腿骨骨幅との関係, *体力科学*, **40** (6), 857 (1991)
 - 21) Peterson, S. E., Perterson, M. D., Raymond, G., Giligan, C., Checovich, M. M., Smith, E. L. ; Muscular strength and bone density with weight training in middle-aged women, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **23** (4), 499-504 (1991)
 - 22) Rocwell, J. C., Sorensen, A. M., Stock, J., Michaels, J., Baran, D. T.; Weight training does not increase bone mass in premenopausal women, *J. Bone Miner. Res.*, **4** : S188, 281 (1989)
 - 23) Sinaki, M., Wahner, H. W., Offord, K. P.; Relationship between grip strength and related regional bone mineral content, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **70**, 823-826 (1988)
 - 24) Snow-Harter, C., Marcus, R.; Exercise, bone mineral density, and osteoporosis—muscle mass, muscle strength and bone mineral density, *Exerc. Sports. Sci. Rev.*, **19**, 351-388 (1991)
 - 25) 菅原明子;非行は食物が原因だった, 講談社, 東京, 64-66 (1985)
 - 26) (株)日本エアロフィットネス協会;骨粗鬆症予防のための効果的運動療法の研究開発事業報告書, 東京, 7-36 (1992)
 - 27) 体育科教育研究会編;体育学実験・演習概説, 大修館書店, 東京, 42-46 (1979)
 - 28) 鳥居 俊, 横江清司, 萬納寺毅智, 中島寛之;女子長距離ランナーの月経異常にともなう骨量減少, *臨床スポーツ医学*, **6** (6), 667-672 (1989)
 - 29) 中外製薬株式会社;わかりやすい骨粗鬆症, 中外総合印刷株式会社, 東京, 1-102 (1988)
 - 30) 渡辺 基, 串田一博, 傳田正史, 山崎 薫, 岡本庄造, 金 洪海, 杉山栄治, 大村亮宏, 井上哲郎;実業団サッカー選手および陸上長距離選手の骨密度の検討(運動の種類による検討), *日本骨代謝学会雑誌*, **9** (3), 224 (1991)