

平成6年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.X 一般人の骨量と運動に関する研究

報告者 財団法人日本体育協会・スポーツ科学研究所

岡田 純一 塚越 克己 雨宮 輝也
伊藤 静夫 原 孝子 加藤 守

1. はじめに

—運動は骨粗鬆症のクスリ!?—

近年、「骨粗鬆症」をキーワードとして、中高年者を中心に骨に対する関心が高まってきている。この病気は「骨組織における単位体積当りの骨量が減少した病態を示す一つの症候群」¹⁰⁾とされている。つまり、骨が「スカスカになってもろくなっている状態」であるため、転んだ拍子に手で身体を支えただけで骨折したり、胸椎や腰椎が体重を支持できなくなり圧迫骨折を生じるのである。その発生原因は骨吸収（骨の破壊）と骨形成のバランスがくずれ、吸収が形成を上回っているためと考えられている⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾。さらにこのバランスは運動、栄養、ホルモンおよび遺伝的な素因など多因子の影響を受けている⁷⁾。従来、骨芽細胞の老化とカルシウム調節ホルモンの低下、あるいは閉経後の女性ホルモンの低下に起因し、高齢者において高い罹患率を示す症状であった¹⁰⁾。しかし、女子長距離選手の月経異常に端を発する骨量の減少やオーバーユース（使いすぎ）による疲労骨折など、スポーツ指導者・選手にとっても「対岸の火事」ではなく、骨が大きな関心事になっている¹¹⁾。

一方、骨形成を促すためには機械的刺激、すなわち骨に直接伝わる衝撃や関節を介して筋に牽引されて生じる力が必要であることが指摘されている⁸⁾¹⁰⁾。この知見を利用した骨粗鬆症予防の可能性、すなわち、運動によって生じるこのような刺激が骨量の減少を抑え、骨形成を促進に貢献する可能性を多くの研究者が検討し成果をあげている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。

このような世情を反映し、日本体育協会においても1968年来継続している「東京オリンピック記念体力測定」において、対象とする東京オリンピ

ックの日本代表選手たちが40～50歳に達したことから、1988年度からその測定項目に骨量測定を加えた¹⁾⁵⁾⁶⁾。さらに、日本体育協会スポーツ科学研究所を中心に国民体育大会などのイベントの機会を捉えて、一般成人およびスポーツ選手の骨量測定を実施してきた²⁾³⁾。本稿では体力測定あるいはアンケートの回答などと関連付けながら体力、スポーツの経験や実践の程度などに着目し、われわれがこれまでに蓄積した骨量に関する資料について報告する。

2. 方法

2-1 測定実施概要

1) 東京オリンピック記念体力測定

東京オリンピック日本代表選手を対象として、オリンピック開催年度毎に実施されており、第6回、第7回測定の期日はそれぞれ1989年2月7日～13日および1993年2月5日～11日であった。第6回においては男性110名、女性27名に対し左手部のX線写真からMD/MS法（後述）によって中手骨の骨量を評価した。一方、第7回測定では超音波法（後述）を用い、踵骨の骨量評価を男性106名、女性26名に対して行った。なお、この研究プロジェクトでは、メディカルチェック、体力測定、運動および食生活習慣等に関する質問紙調査が同時に実施されている。詳細は各報告⁵⁾⁶⁾を参照願いたい。

2) 東四国国体会場

平成5年10月24日～29日の間に、第48回国民体育大会（徳島・香川）のメイン会場である徳島県鳴門運動公園陸上競技場において来場者を対象とした骨量チェックコーナーを開設した。選手を除

いた30歳以上の一般成人の被験者数は、男性137名、女性270名、合計397名であった。被験者は受付後の待ち時間を利用して、食事、カルシウム摂取、運動習慣に関する質問紙調査²⁾に回答した。

3) 愛知国体会場

平成6年度には第49回国民体育大会(愛知)のメイン会場である瑞穂運動公園(名古屋市)において、10月29日~11月3日の間に、前年と同様の骨量チェックコーナーを開設した。同じく一般成人(30歳以上)の被験者数は、男性155名、女性465名、合計620名であった。骨量測定に際し、面接者が運動および食習慣に関する聞き取り調査を実施するとともに、身長、体重および栄研式キャリパーによる皮下脂肪厚の計測を行なった。なお、聞き取り調査の内容は前年の質問紙に一部修正を加えたものである³⁾。

2-2 骨量測定

1) MD/MS 法

東京オリンピック記念体力測定においては、手とアルミ階段を同時にX線撮影し、MD/MS法を用いて第2中手骨の骨量を評価した(帝人株式会社へ依頼)。この方法ではX線写真をパーソナルコンピュータに取込み画像解析を行ない、中手骨の吸光度をアルミ階段の段数に変換補正し、骨量に関する諸指標を求めている(表1)。

2) 超音波法

第7回東京オリンピック記念体力測定、東四国国体および愛知国体においては、超音波骨密度測定装置“アキレス”(Lunar社製)を使用した。この装置は、踵骨に超音波を放射し、透過した超音波の伝播速度からSpeed of Sound(超音波伝播速度:SOS値)および超音波波形分析からBroadband Ultrasound Attenuation(伝播減衰係数:

BUA値)が得られる。これらから骨密度指標:Stiffness Indexが算出され、% Young Normal(20歳の平均値を100%とした相対値)として表示される。すなわち、被験者が温水を浸した測定槽に踵を静置すると、超音波送信器から0.5MHzを中心としたパルス波が間欠的に踵骨へ放射される。検知された信号は、コンピュータに転送され波形解析され、SOS値、BUA値およびStiffness値が出力される。全行程は約7分であった。測定期間中、専用の模擬踵骨ファントムを用いて較正を毎日実施した。

2-3 アンケート調査

面接者による聞き取り調査を実施した愛知国体を除き、全ての測定において、質問紙法による記述式で運動および食習慣プロフィールの調査がなされた¹⁾²⁾³⁾。

各々の測定で質問紙の体裁は異なっているが、概ね共通した質問項目で構成されている。すなわち、生活活動強度(もしくは歩行時間)、週当りの運動頻度、1回の時間、運動の内容、栄養摂取状況および生理の状態(女性のみ)などについてである。このなかで生活活動強度は厚生省⁴⁾、栄養摂取については江澤¹⁾のプロトコールを使用した。

2-4 統計処理

平均値の差の検定にはt-testを、相関の有意性の検定にはPearson's correlation coefficientを用い、有意水準を5%以下とした。

結果と考察

1. 元オリンピック選手の骨量と体力

(東京オリンピック記念体力測定より)

第6回東京オリンピック記念体力測定の参加者

表1 MD/MS法の指標

ΣGS	骨塩量を表わす指標
μ'	骨密度を表わす指標
I	断面2次モーメント(骨の力学的強度)を表わす指標
$\Sigma GS/D$	骨幅当りの平均の骨塩量を表わす指標

に対してMD/MS法により中手骨骨量が評価された。図1には骨塩量指標であるΣGSについて一般成人と比較するため、その性・年代別平均値および±2σ(標準偏差)とともに各被験者の値をプロットした。男性において、平均値-1σより低いものは3.6%、一方+2σより高いものが11.7%であった。同じく女性において、平均値-1σより低いものは7.4%、+2σ以上のものが29.6%であった。このとき測定された体力測定項目と骨量との関係を検討したところ、中手骨骨量指標と最も多く有意な相関を認めたのは握力であった(表2)。このように元オリンピック選手は、男女ともに一

般成人の平均値を大きく超える値を示し、青年期にPeak Bone Massが高められたため現在も高い水準の骨量を維持していることが想像できる。

第7回測定時には超音波法による踵骨の骨量評価が実施され、体力測定項目との相関を検討したところ、最大酸素摂取量とSOSおよびStiffness Indexとの間に有意な正の相関関係($r=0.29$; $p<0.01$, $r=0.24$; $p<0.05$)が認められた(図2)。つまり、中手骨と握力、あるいは踵骨と最大酸素摂取量というように、測定の対象となった部位とその部位が関与している体力測定項目の間に有意な相関が認められた。われわれは握力を力発

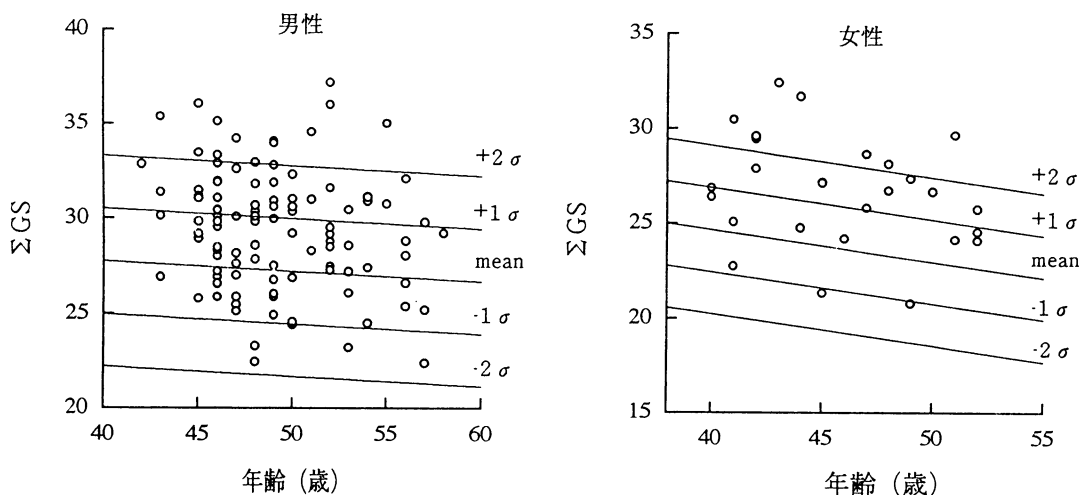


図1 元オリンピック選手のΣGS値と一般人の基準値

表2 骨量関係指標(中手骨)と体力測定値との相関係数

		ΣGS	μ'	I
握力	男性	0.284 **	-0.154	0.428 ***
	女性	0.546 **	-0.009	0.435 *
%FAT	男性	0.089	-0.090	0.228 *
	女性	-0.285	0.392 *	-0.451 *
$\dot{V}O_{2max}$	男性	-0.076	0.127	-0.177
	女性	-0.094	-0.590 **	0.243

* $P<0.05$ ** $P<0.01$ *** $P<0.001$

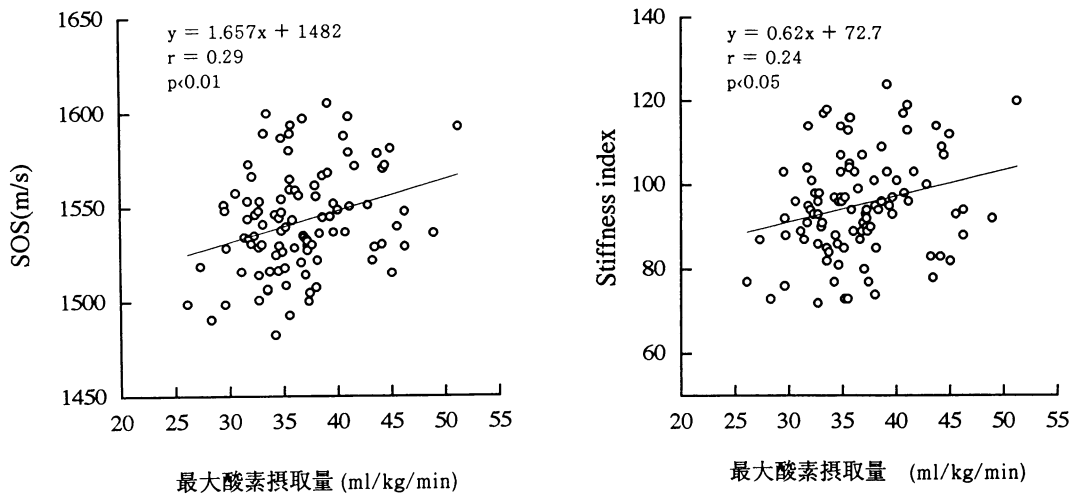


図2 最大酸素摂取量と踵骨骨量指標

揮をともなう身体活動量の指標として、最大酸素摂取量を有酸素的な身体活動量の指標として位置づけた。すなわち、これらの能力が高いことは、青年期の能力が高かったことだけではなく、現在の日常生活活動も活発であると考えられるからである。このことは、運動による物理的な刺激あるいは積極的な筋活動がその活動に動員されている骨に対し、骨量の維持・増加のため有効に作用している可能性を示唆するものと考えられる。なお、第6回測定での中手骨骨塩量指標 ($\Sigma GS/D$) と第7回での踵骨の SOS との間に (4 年の経過はあるが)、 $y = 0.004x - 3.26$ ($r = 0.40$; $p < 0.001$) の有意な正の相関関係が見られ、手部の骨量が高い者は脚の骨量も高い傾向にあることが示唆された。

2. 測定対象、性・年齢区分別 Stiffness Index 比較

第7回東京オリンピック記念体力測定から超音波法による踵骨骨量測定を採用したことを契機に、国体会場において多数の来場者を対象として「骨量チェックコーナー」を開設し、アンケート調査および骨量測定を実施した。各会場ともに選手数はわずかであり、中高年者が大多数であったため、20代以下を削除して分析した。また、分析に際し、被験者数および日本人女性の標準値¹²⁾の年齢区分

に従い、男性5区分、女性8区分とした。表3および4に性・年齢区分別 Stiffness Index を示した。男性は日本人男性の標準値に関する報告がないため、女性でだけ先行研究の報告を引用した。男女ともに加齢にともなう骨量の減少が観察され、とくに50代を境に女性においてその程度が顕著である。図3に示したように、年齢をほぼ等しく抽出した愛知国体での非閉経群(49.7歳)と閉経群(50.3歳)では閉経群が有意に低い値を示した($p < 0.05$)。この傾向は東京オリンピック記念体力測定および東四国国体でも同様であった。

また特筆すべきは、元オリンピック選手の数値の高さである。年齢区分によっては十分な例数ではないけれども、女性の55-59歳で平均90.3という値は日本人標準値¹²⁾の20代の平均値に匹敵し、言うまでもなく東四国および愛知の両国体会場よりも有意に高い値である。これは、前述の中手骨骨量における一般成人基準値との比較および体力因子との関連と併せ、元オリンピック選手の過去の運動経験が、中高年期における高い骨量水準の維持に貢献していることを示唆する結果であろう。

一方、愛知国体の被験者はいくつかの年齢区分において、他より有意に低い値であった。男性では、40-49歳(vs 元オリンピック選手)、50-59歳(vs 元オリンピック選手および東四国)、60-69歳

表3 年齢区分別 Stiffness Index (踵骨骨量指標)

	東京オリンピック記念測定			東四国国体			愛知国体		
	n	mean	sd	n	mean	sd	n	mean	sd
30-39				33	100.4 ± 15.1		26	98.8 ± 15.8	
40-49	13	99.6 ± 8.6		44	93.2 ± 14.2		23	87.5 ± 13.3	
50-59	83	95.3 ± 12.2		21	89.6 ± 14.1		28	81.5 ± 12.2	
60-69	9	90.3 ± 13.5		26	88.7 ± 14.7		59	76.6 ± 12.4	
70-	1	74.0		10	79.5 ± 16.8		19	72.1 ± 10.2	

表4 年齢区分別 Stiffness Index (踵骨骨量指標)

	東京オリンピック記念体力測定			東四国国体			愛知国体			日本人標準値*		
	n	mean	sd	n	mean	sd	n	mean	sd	n	mean	sd
30-39				37	90.3 ± 13.8		44	85.9 ± 12.4		141	#87.6 ± 8.4	
40-44	2	99.0 ± 11.3		30	86.8 ± 8.5		36	85.8 ± 11.6		163	86.1 ± 7.2	
45-49	10	94.7 ± 16.6		34	91.1 ± 10.9		49	84.0 ± 9.7		131	84.3 ± 8.2	
50-54	8	88.0 ± 10.1		33	79.0 ± 17.3		58	77.4 ± 11.5		102	79.8 ± 8.0	
55-59	6	90.3 ± 17.8		36	74.7 ± 10.6		82	69.9 ± 9.8		63	73.2 ± 6.6	
60-64				50	71.5 ± 9.7		86	66.4 ± 9.0		42	73.0 ± 6.3	
65-69				35	68.5 ± 8.8		59	63.1 ± 9.4		26	72.3 ± 4.5	
70-				17	64.7 ± 7.5		51	60.3 ± 8.8		23	68.9 ± 6.8	

* Yamazaki, K. et al. (1993)

The 4th International Symposium on osteoporosis

年齢区分：35-39

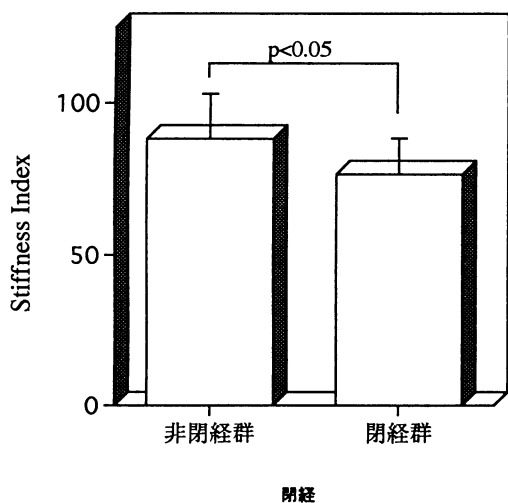


図3 閉経群と非閉経群の骨量比較 (愛知国体)

(vs 元オリンピック選手および東四国)の年齢区分でいずれも低値であった。同じく女性は45-49歳 (vs 元オリンピック選手および東四国), 50-54歳 (vs 元オリンピック選手), 55-59歳 (vs 元オリンピック選手, 東四国および標準値), 60歳以降は (vs 東四国および標準値) で有意差 ($p < 0.05 \sim 0.01$) が見られた。対照的に東四国国体のデータは元オリンピック選手や標準値のデータと比べても, 45-49歳および55-59歳を除いて, 有意差を見出すに至っていない。両国体会場での被験者は会場周辺部の居住者が殆どであり, 日本人の標準値として報告されている値¹²⁾も静岡県成人女性を被験者としている。すなわち, このデータは地域の特性を顕わしている可能性があり, 食習慣・生活習慣の地域差についても今後考慮する必要がある。

3. 一般成人における運動習慣と骨量

(東四国および愛知県骨量測定を中心に)

運動習慣については、アンケート調査において得られた週あたりの運動の頻度および運動時間から「よく運動している人」(4点)から「実施していない人」(1点)まで、栄養摂取状況は江澤のプロトコル¹⁾によって同じく4段階に評価した。東四国国体では質問紙、愛知県国体では面接者による聞き取り調査であったため、その回答に若干差が生じ、運動習慣評価の分布が異なっていた。その

ため、両群を同時に比較できないが、それぞれの評価点と骨量について検討した。

1) 東四国国体

運動評価点の分布に基づき、1点群と2~4点群の2群でStiffness Indexの平均値を比較したところ、男性の30-39歳、40-44歳、および女性の40-44歳、45-49歳、70歳以上の年齢区分において、より運動しているもの、すなわち2~4点群の方が有意に高い値を示した(図4)。

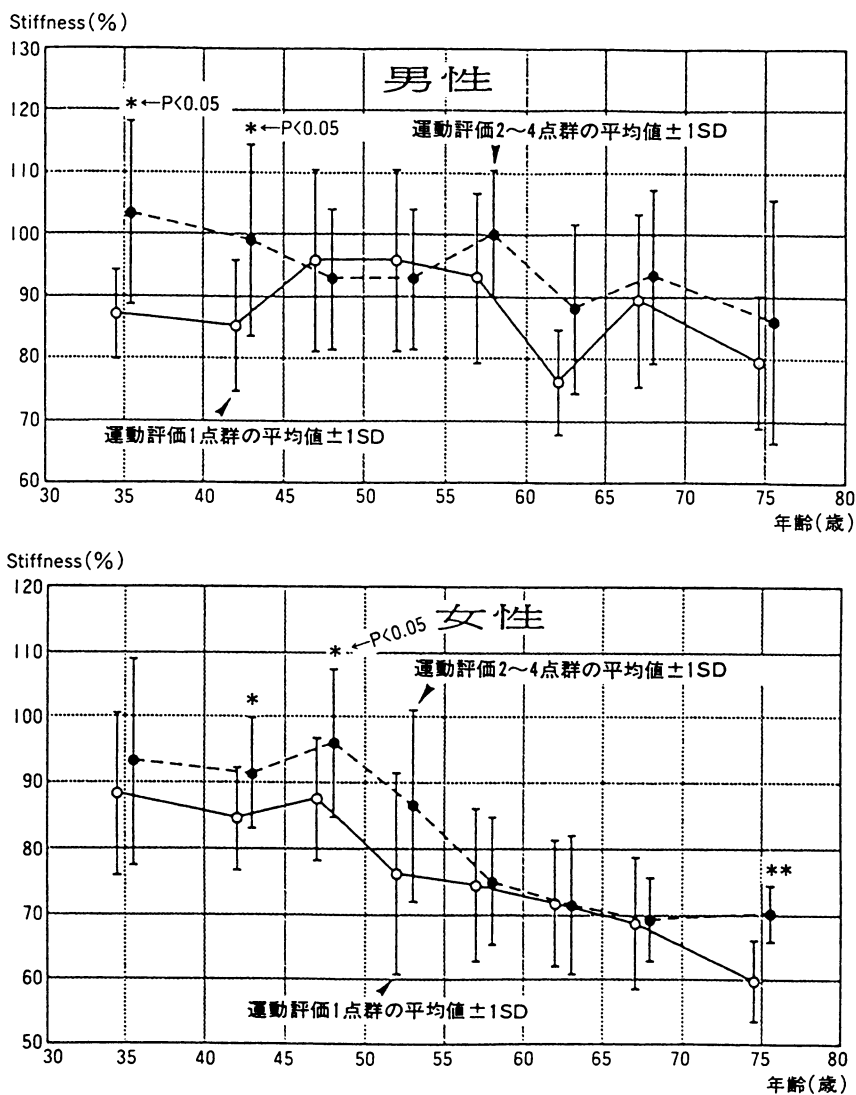


図4 運動評価1点群2~4点群とのStiffness比較(東四国国体)

同じく栄養評価点における4点と2～3点の2群での比較では、図5に示したとおり統計的に差を検出できなかった。

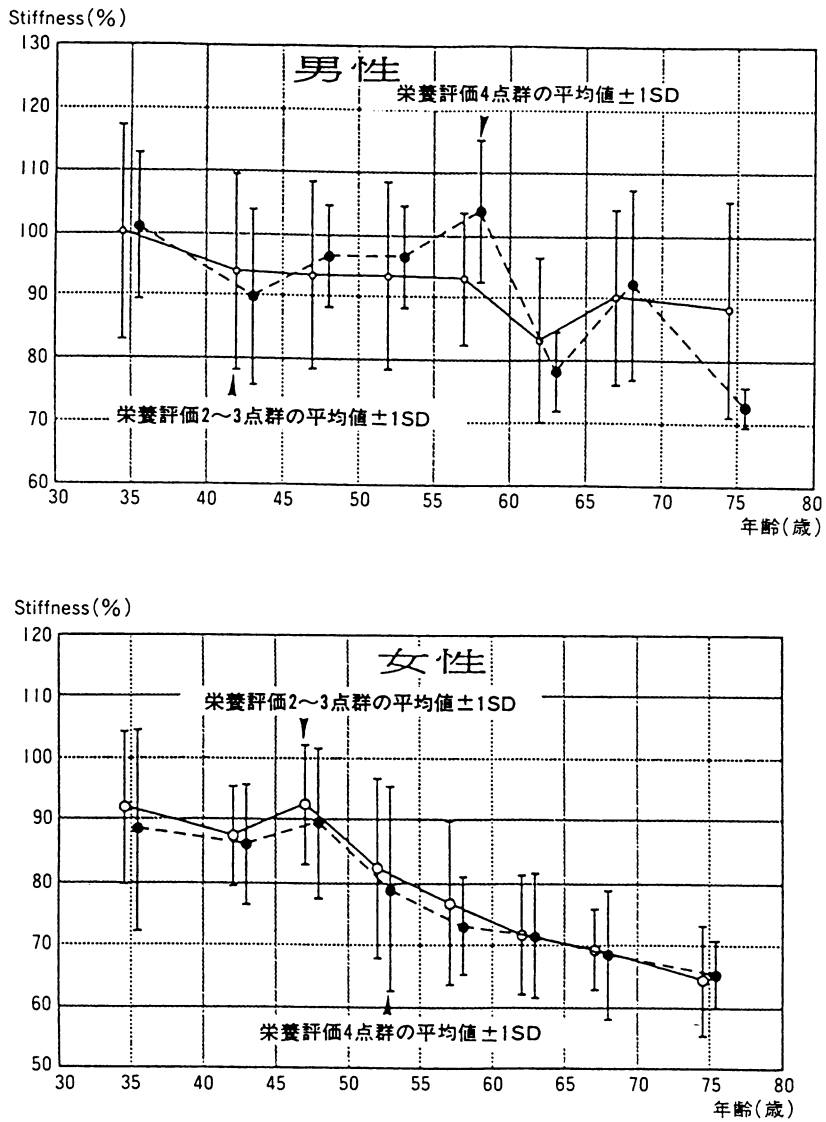


図5 栄養評価2～3点群と4点群とのStiffness比較(東四国国体)

2) 愛知国体

愛知国体での被験者も運動評価点1点群と2～4点群の2群でStiffness Indexの平均値を比較したところ、男性において、2～4点群の方が高

い骨量を示す傾向にあった。一方、女性では60歳代までは一定の傾向を示さなかったが、70歳以上では2群間に有意差が認められた(図6)。

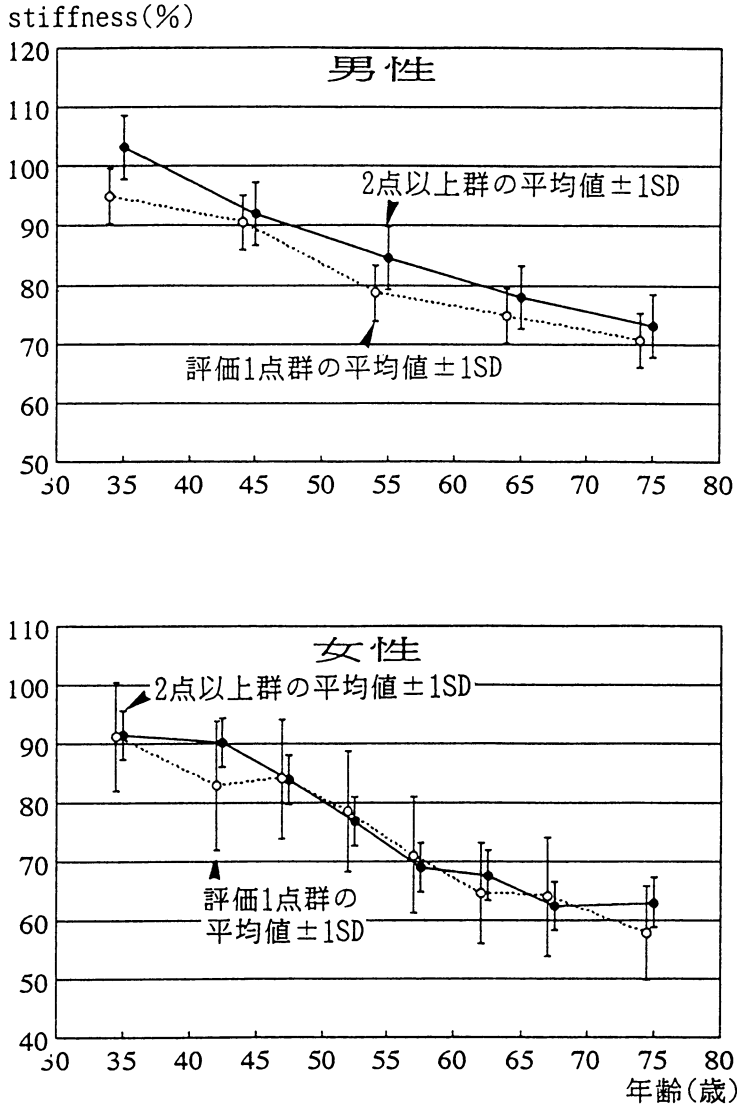


図6 運動評価1点群と2点以上群との骨量比較(愛知国体)

通勤時の往復歩行時間や勤務時の歩行時間を質問し、一日の平均歩行時間調査を試みた。その回答に基づき60分以上群と59分以下群とに2分し、Stiffness Index の平均値を比較した。有意差を認

めた年齢区分はなかったが、沢山歩いた方が骨量が高い傾向にあるという仮説を否定するものではないと思われる(図7)。

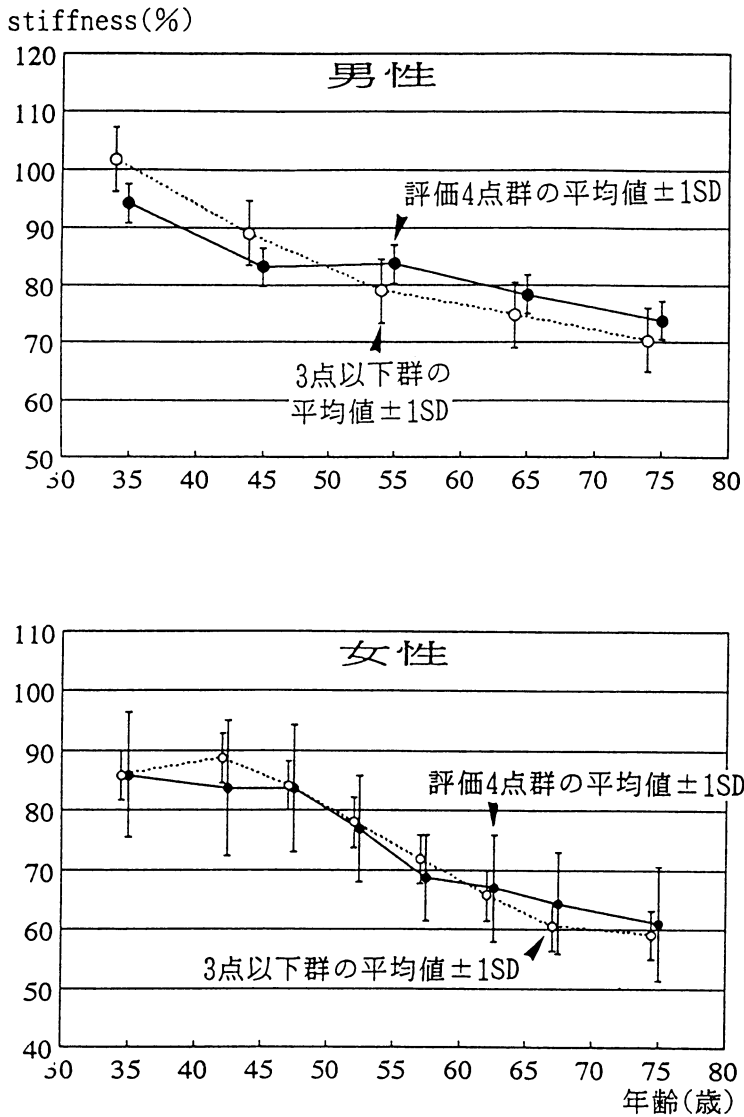


図7 栄養総合評価4点群と3点以下群との骨量比較(愛知県体)

栄養評価は4点と3点以下群として比較されたが、両群に差は見られなかった(図8)。

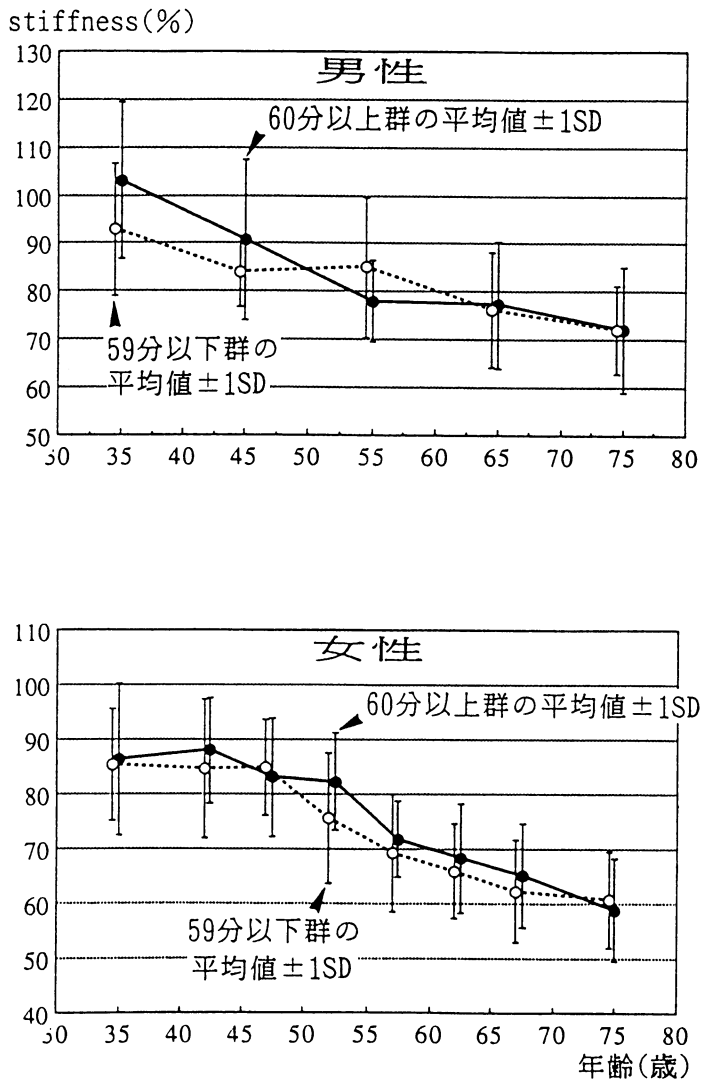


図8 一日の歩行時間60分以上群と59分以下群との骨量比較(愛知県民)

前述したように、筋力と骨量に相関関係がみられたため、筋量と骨量の関係を検討する意図で、身長あたりの筋量の指標としてLBMI（除脂肪体重/身長²）を算出した。各年齢区分においてLBMIが大きい群（平均値+0.5σ以上）と小さい群（平均値-0.5σ以下）を抽出し、各群のStiffness

Indexの平均値を求めた（図9）。LBMI、すなわち筋量が多い群が高い骨量を有する傾向にあったが、70歳以上ではその傾向が逆転していた。これは高齢者では円背などで身長が低下が生じ、身長とLBMの関係が他の年齢層と異質であるためと考えられる。

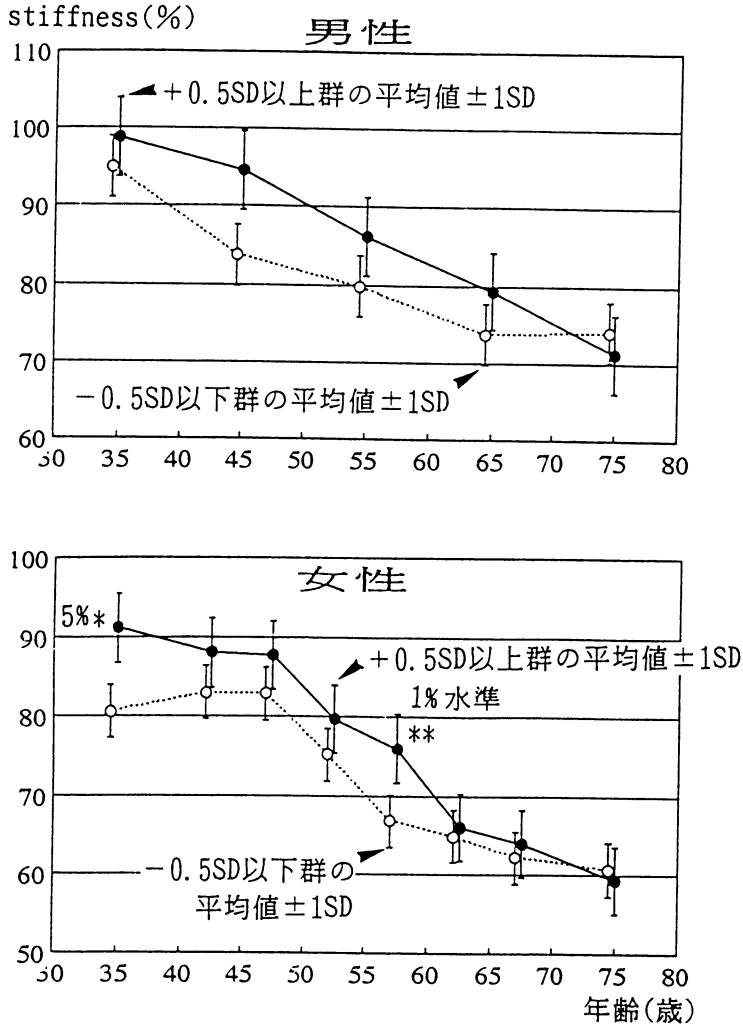


図9 LBMI（除脂肪体重/身長²乗指数）の大小（+0.5SD以上群と-0.5SD以下群）による骨量比較（愛知国体）

ここに挙げた国体でのフィールド測定は、1日に100人近くを消化するため、アンケート調査や骨量測定そのものが時間的あるいは人的に限られた範囲で実施されている。そのような条件下で高い精度で運動や食習慣を調査し、骨量を測定することは困難である。しかし、運動習慣と骨量の実態をより正確に把握するために、回を重ねる毎に測定項目や評価法を工夫することが今後の課題であらう。

参考文献

- 1) 林 史：平成4年度老人保険健康増進事業、中高年者の骨量と日常生活習慣（運動・栄養）との関連調査事業報告書 健康保険組合連合会，1993.
- 2) 林 史：平成5年度老人保険健康増進事業、骨粗鬆症予防のための効果的な保険指導マニュアルおよび個人別指導票の作成事業報告書 健康保険組合連合会，1994.
- 3) 林 史：平成6年度老人保険健康増進事業、保険指導マニュアルの活用による骨粗鬆症予防に関する事後指導の評価報告書 健康保険組合連合会，1995.
- 4) 厚生省：第4次改定 日本人の栄養所要量，第一出版，1989.
- 5) 黒田善雄ほか：東京オリンピック記念体力測定—第6回報告— 昭和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 1989.
- 6) 黒田善雄ほか：東京オリンピック記念体力測定—第7回報告— 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 1993.
- 7) 串田一博，町田晃：骨の成長と老化. 体育の科学 42：832—839，1992.
- 8) 町田 晃，井上哲郎：高齢者の骨組織に対する運動の影響. Jap J Sports Sci, 10：734—739，1991.
- 9) 沢井史穂：運動習慣と骨密度. 体育の科学 42：851—856，1992.
- 10) 谷本広道：骨粗鬆症と運動. 体育の科学 42：840—845，1992.
- 11) 鳥居俊：オーバーユースと骨. 体育の科学 42：857—862，1992.
- 12) Yamazaki, K. et al：Ultrasound bone densitometry of the os calcis. The fourth international symposium on osteoporosis. Hong Kong, March, 1993.