

肥満傾向にある中高年女性における 骨粗鬆症の積極的予防に関する研究

琉球大学 尾尻 義彦
(共同研究者) 同 吉川 朝昭

Research on the Prevention of Osteoporosis in Mild Obese Middle-Aged Women

by

Yoshihiko Ojiri

*Department of Basic Health Sciences, School of
Health Sciences, University of the Ryukyus*

Tomoaki Yoshikawa

*Department of Ortheopaedic Surgery, School of Medicine,
Faculty of Medicine, University of the Ryukyus*

ABSTRACT

The effects of 12 wk exercise-training program on total and regional body composition, and bone mineral density (BMD) were assessed by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) in mild obese 8 women [age 49.4 ± 3.1 (SE) yr, BMI 27.2 ± 0.5]. The exercise-training program results in substantial increase in predicted maximal oxygen uptake (28.1 ± 2.5 to 35.8 ± 2.5 ml/kg/min; $P < 0.01$). The total fat mass decreased by 3.6 kg (23.44 ± 0.94 to 19.85 ± 1.12 kg; $P < 0.01$), and the total fat-free mass did not change (36.00 ± 0.71 to 36.01 ± 0.63 kg; not significant) when measured by DEXA. Fat mass reduced in the arms (4.50 ± 0.39 to 3.72 ± 0.23 kg; $P < 0.05$), legs (5.19 ± 0.39 to 4.52 ± 0.44 kg; not significant), and trunk (11.99 ± 0.78 to 10.10 ± 0.70 kg; $P < 0.01$) as a result of training. There were no significant changes in total (1.150 ± 0.018 to 1.139 ± 0.016), lumber spine (L1-4; 1.101

± 0.035 to 1.087 ± 0.033), and femoral neck BMD (0.856 ± 0.031 to 0.847 ± 0.032). In addition, osteocalcin (a marker of bone formation) and tartrate-resistant acid phosphatase (a marker of bone resorption) were measured before and after training to assess bone turnover. The exercise-training program resulted in a decrease in osteocalcin (9.67 ± 0.98 to 7.82 ± 0.98 ng/ml; $P < 0.05$) and in a increase in tartrate-resistant acid phosphatase (9.33 ± 0.69 to 12.82 ± 0.77 IU; $P < 0.01$).

These findings confirmed that 12 wk of exercise-training, which results in decreases in total and regional fat mass, was not sufficient to increase total and regional BMD. Exercise-training can increase bone resorption, and this does not appear to be accompanied by changes in total and regional BMD. The reason for this conflict will require further study.

要 旨

8人の肥満傾向のある中高年女性 [年齢 49.4 ± 3.1 (標準誤差) 歳, BMI 27.2 ± 0.5] において, 全身および局所の体組成と骨密度に及ぼす12週間の運動トレーニングの影響を二重エネルギー X線吸収法 (DEXA) を用いて評価した. 運動トレーニングは最大酸素摂取量推定値を増加させた. DEXA 法による測定の結果, 全身の脂肪量は平均で 3.6 kg 減少したが, 全身の除脂肪量は変化しなかった. トレーニングにより腕, 脚, 体幹の脂肪量の減少を示した. 全身, 第1-4腰椎, 大腿骨頸部の骨密度に有意な変化はみられなかった. さらに, 骨代謝を評価するためオステオカルシン (骨形成のマーカー) と酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ (骨吸収のマーカー) を測定した. 運動トレーニングはオステオカルシンの減少と酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼの増加を引き起こした.

以上の結果から, 全身と局所の脂肪量の減少を引き起こす12週間の運動トレーニングは全身と局所の骨密度を増加させるためには不十分であることが示された. 運動トレーニングは骨吸収を促進させたが, このことは全身と局所の骨密度の変化

とは必ずしも結びつかなかった. この矛盾点を説明するには今後さらに検討が必要である.

緒 言

骨粗鬆症は, 高齢者とくに女性に多い疾患であり, 椎体, 大腿骨頸部, 橈骨末端などの骨折を起こしやすくする. 椎体骨折は腰背痛や脊柱の変形をきたし, 老年期の Quality of Life を低下させる要因となる. 大腿骨頸部の骨折はさらに深刻な影響をもたらし, 寝たきり老人の原因の約20%を占めるといわれている. 骨粗鬆症の有病率は50歳代後半から高くなり, 70歳以上の女性では50%以上になる. 高齢化社会を迎えている国々では, 骨粗鬆症の予防対策が重大な関心事となっている.

沖縄県総合健康増進センターでは, 中等度肥満者を対象として栄養・運動・休養を基本にして健康的にやせるための「いきいきスリム教室」を実施している. このスリム教室は, 3ヵ月間の食餌療法, 行動療法および運動療法を通じて体重の減少のみならず, 血圧や中性脂肪, 総コレステロール, GOT, GPT, γ -GTP, 血糖および尿酸値においても改善をもたらすことから, 成人病の予防にも効果を上げている¹⁾. このスリム教室の受

講生の大半は40～50歳代の女性でしめられているが、女性はこの年代に閉経を迎え、閉経後に骨塩量の減少が一段と進み、骨粗鬆症の有病率も高くなることが知られている。また、体重の過多は骨や骨格筋といった運動器官に過大な力学的負荷となり、変形性膝関節症、頸腕症候群、腰痛、下肢痛などの整形外科的疾患を誘発させる²⁾。健康づくりのためには成人病の予防とともに骨粗鬆症に対しても十分な予防を図ることが望ましい。

本研究は、肥満傾向にある中高年女性の骨密度の実態を調査するとともに、減量と成人病の予防を目的として行われている「いきいきスリム教室」の受講が骨密度に対してどのような影響をもたらしているのか調べることを目的とした。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は、平成7年5月から7月の3ヵ月間にわたり、沖縄県総合健康増進センターで行われた「いきいきスリム教室（以下スリム教室と略す）」に参加した38歳から59歳までの女性8名であった（平均年齢：49.4±3.1歳、平均身長：149.5±1.0 cm、肥満度：28.4±2.1%、BMI：27.2±0.5）。スリム教室の受講資格は、当センターで実施する健康診断と運動のための医学的検査および体力テストを受け、異常がなく、且つ肥満度が20から40%の範囲内の者であった。被験者は12週間の教室終了後にも同様の検査を受けた。

1.2 形態測定

上腕部と背部の皮下脂肪厚を労研式改良型皮下脂肪計で測定し、Nagamine and Suzuki³⁾の方法により体脂肪率を算出した。肥満度は次式により求めた。

肥満度(%)

$$= (\text{体重} - \text{標準体重}) / \text{標準体重} \times 100$$

1.3 最大酸素摂取量の間接測定

自転車エルゴメータ (Combi社, AEROBIKE)

を用い2段階負荷 (300 kpm/min と 450 kpm/min で各3分間) 時の心拍数測定結果から、Åstrand⁴⁾のノモグラムにより最大酸素摂取量を推定した。

1.4 体組成および骨密度の測定

全身および各部 (頭, 腕, 脚, 体幹, 肋骨, 骨盤, 脊柱), 第1腰椎から第4腰椎, 大腿骨近位端部 (大腿骨頸部, Ward三角部, 大転子部) の骨密度 (BMD: Bone Mineral Density) と体組成 (脂肪組織, 除脂肪組織, 骨塩量) の測定は、二重エネルギーX線吸収法 (DEXA: Dual-Energy X-ray Absorptiometry) に基づくLunar社製DPX-Lを用いて行った。

1.5 血液分析

採血は安静状態において被験者の肘静脈より行った。血液は直ちに血清分離し、総蛋白, アルブミン, ヘモグロビン, 総コレステロール, HDLコレステロール, 中性脂肪の分析 (東芝, TBA-50S) に供すると同時に、一部は凍結保存 (-80°C) した。保存血清は住友金属バイオサイエンスへ発送し、酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ (TRAP: Tartrate-Resistant Acid Phosphatase) およびオステオカルシン (intact BGP: intact Bone Gla Protein) の分析を行った。

1.6 スリム教室の内容

スリム教室は12週間、週2回、1日2時間にわたって20回実施された。20回のうち15回は1時間の講義と1時間の運動トレーニングからなり、2回が2時間の水中運動、3回が2時間の調理実習であった。講義は医師, 栄養士, 運動指導士等により運動, 栄養, 休養等に関する内容について実施された。運動トレーニングは10分間のストレッチ体操, 15分間のウォーキングマシン上での歩行 (心拍数120拍/分程度), 1,000 m速歩 (心拍数120拍/分程度), 20分間の各種マシンを利用した比較的弱い負荷での筋力トレーニング, 5分間のストレッチ体操を実施した。調理実習は栄養士に

より行われた。

被験者はスリム教室における運動トレーニングのほかに、あらかじめ設定された運動プログラムにしたがって自主的に90分間の運動トレーニングを行った。その内容は、10分間のストレッチ体操、30分間のウォーキングマシン上での歩行（心拍数120拍/分程度）、2,000 m 速歩（心拍数120拍/分程度）、30分間の各種マシンを利用した比較的弱い負荷での筋力トレーニング、10分間のストレッチ体操であった。

1.7 統計

値はすべて平均値±標準誤差で示した。スリム教室受講前後での各測定値の比較はStudent's *t*-testにより行い、5%未満の危険率を有意とした。

2. 研究結果

2.1 形態測定, 生理学検査, 血液生化学検査

スリム教室の平均出席率は86.3±4.9%で、1

週間あたりの自主的な運動トレーニングの平均実施回数は2.0±0.5回/週であった。12週間の教室前後で体重(-4.5±0.5 kg; P<0.01), 上腕部(-18.5±2.2%; P<0.01)と背部皮脂厚(-19.4±2.6%; P<0.01), 体脂肪率(-17.4±2.0%; P<0.01), 最高血圧(-9.5±2.3%; P<0.01)および中性脂肪(-32.1±9.6%; P<0.05)はいずれも有意な減少を示した(表1)。また最大酸素摂取量は有意に増加した(31.1±9.3%; P<0.05)。

2.2 DEXA 法による体組成

DEXA 法により得られたスリム教室前後における腕, 脚, 体幹および全身の脂肪量, 脂肪以外の軟部組織(除脂肪)量および全重量に体する脂肪量の割合(脂肪率)の結果を表2に示した。腕, 体幹, 全身の脂肪量は12週間のスリム教室前後で有意な減少を示した。脚の脂肪量の減少は有意ではなかった。各部および全身の除脂肪量は12週間のスリム教室前後で有意な変化を示さなかった。

表1 形態測定値, 生理学検査値, 血液生化学検査値

	前	後
形態測定値		
体重 (kg)	60.9 ± 1.2	56.4 ± 1.3**
BMI	27.2 ± 0.5	25.2 ± 0.5**
肥満度 (%)	28.4 ± 2.1	18.8 ± 2.3**
皮脂厚 (mm) 上腕部	27.2 ± 1.0	22.3 ± 1.3**
背 部	36.9 ± 3.2	29.7 ± 2.8**
体脂肪率 (%)	40.6 ± 2.2	33.6 ± 2.2**
生理学検査値		
最高血圧 (mmHg)	137.3 ± 8.2	123.9 ± 7.2**
最低血圧 (mmHg)	80.0 ± 5.5	73.1 ± 4.4
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	28.1 ± 2.5	35.8 ± 2.5**
血液生化学検査値		
総蛋白 (mg/dl)	7.3 ± 0.2	7.1 ± 0.1
アルブミン (mg/dl)	4.0 ± 0.1	3.9 ± 0.0
ヘモグロビン (g/dl)	13.8 ± 0.3	13.5 ± 0.3
総コレステロール (mg/dl)	213.4 ± 12.6	201.0 ± 11.5
HDL コレステロール (mg/dl)	59.4 ± 5.5	54.8 ± 3.1
中性脂肪 (mg/dl)	126.6 ± 11.4	81.1 ± 7.6**

BMI ; Body Mass Index (体重/身長²)

肥満度 (%) = (体重 - 標準体重) / 標準体重 × 100

平均値 ± 標準誤差 ** ; P < 0.01 (前対後)

表2 DEXA 法による体組成

	前	後
腕		
脂肪量 (kg)	4.50 ± 0.39	3.72 ± 0.23*
除脂肪量 (kg)	4.24 ± 0.21	4.10 ± 0.23
脂肪率 (%)	51.0 ± 2.0	47.5 ± 1.6*
脚		
脂肪量 (kg)	5.19 ± 0.39	4.52 ± 0.44
除脂肪量 (kg)	11.07 ± 0.33	11.15 ± 0.32
脂肪率 (%)	31.6 ± 1.2	28.4 ± 1.7
体幹		
脂肪量 (kg)	11.99 ± 0.78	10.10 ± 0.70**
除脂肪量 (kg)	17.76 ± 0.47	17.78 ± 0.32
脂肪率 (%)	40.0 ± 1.5	35.9 ± 1.6*
全身		
脂肪量 (kg)	23.44 ± 0.94	19.85 ± 1.12**
除脂肪量 (kg)	36.00 ± 0.71	36.01 ± 0.63
脂肪率 (%)	39.4 ± 1.0	35.4 ± 1.2**

平均値 ± 標準誤差 * ; P < 0.05 ** ; P < 0.01 (前対後)

腕の脂肪率は51.0 ± 2.0%で高い率であるのに対し、脚の脂肪率は31.6 ± 1.2%と低い率であった。

2.3 骨密度

表3に身体各部、大腿骨近位端部、第1腰椎から第4腰椎における骨密度の結果を示した。12週間のスリム教室前後で、いずれの部位の骨密度においても有意な変化は認められなかった。本研究において使用した骨密度測定装置のソフトウェアは、骨疾患を有していない健常な日本人の年齢別骨密度正常値をデータベースとして組み込んでいる。そのデータベースをもとに各被験者の体重補正後の骨密度と同年齢の平均骨密度との比較を行い、% Age-Matched として示した。本被験者の全身の骨密度の% Age-Matched は平均107.6 ± 2.0%であった。

大腿骨近位端部 (大腿骨頸部, Ward 三角部,

表3 骨密度 (g/cm²)

	前	後
身体各部		
頭	2.241 ± 0.081	2.242 ± 0.063
腕	0.888 ± 0.026	0.865 ± 0.032
脚	1.123 ± 0.023	1.132 ± 0.023
体幹	0.934 ± 0.016	0.911 ± 0.011
肋骨	0.716 ± 0.014	0.713 ± 0.013
骨盤	1.125 ± 0.029	1.105 ± 0.018
脊柱	1.143 ± 0.036	1.097 ± 0.025
全身	1.150 ± 0.018	1.139 ± 0.016
% Age Matched (全身)	107.6 ± 2.0	106.6 ± 1.3
大腿骨近位端部		
大腿骨頸部	0.856 ± 0.031	0.847 ± 0.032
Ward の三角部	0.809 ± 0.051	0.799 ± 0.045
大転子部	0.744 ± 0.021	0.732 ± 0.015
% Age Matched (大腿骨頸部)	106.9 ± 4.4	104.9 ± 3.8
第1腰椎から第4腰椎		
第1腰椎	1.017 ± 0.045	0.999 ± 0.037
第2腰椎	1.116 ± 0.032	1.091 ± 0.032
第3腰椎	1.112 ± 0.040	1.125 ± 0.041
第4腰椎	1.142 ± 0.031	1.117 ± 0.033
腰椎1-4	1.101 ± 0.035	1.087 ± 0.033
% Age Matched (腰椎1-4)	101.5 ± 3.1	100.9 ± 3.1

平均値 ± 標準誤差

大転子部)における骨密度は、12週間のスリム教室前後で有意な変化を認めなかった。本被験者の大腿骨頸部の骨密度の% Age-Matched は平均 $106.9 \pm 4.4\%$ であった。

第1腰椎から第4腰椎の骨密度は、12週間のスリム教室前後で有意な変化を認めなかった。本被験者の第1-4腰椎の骨密度の% Age-Matched は、平均 $101.5 \pm 3.1\%$ で同年齢の平均骨密度とほぼ同程度であった。

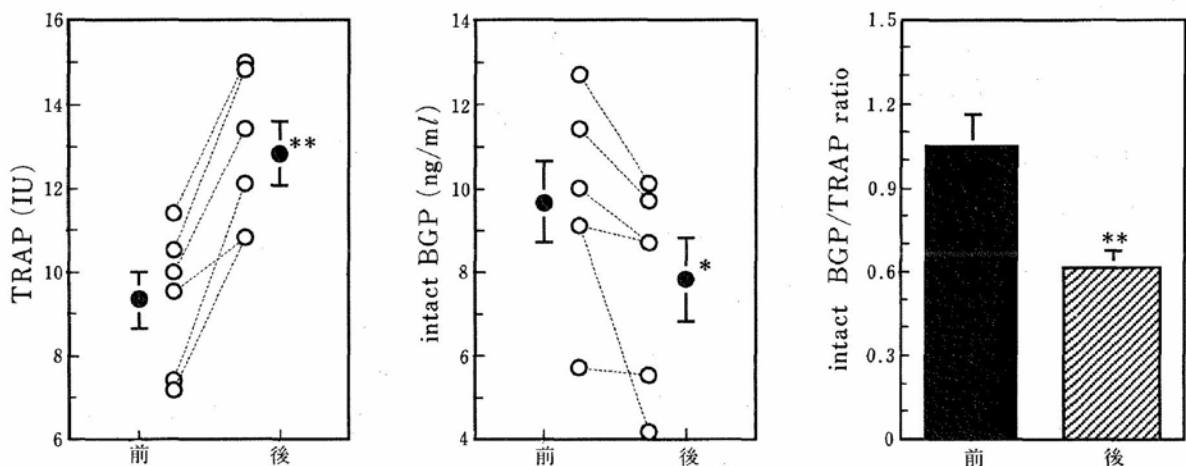
2.4 骨代謝マーカー

血清中の酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ (TRAP) とオステオカルシン (intact BGP) 濃度の結果と、骨のリモデリングにおける骨吸収と形成の指標として intact BGP/TRAP 比を図1に示した。12週間のスリム教室により TRAP は有意に増加し (9.33 ± 0.69 から 12.82 ± 0.77 IU ; $P < 0.01$)、intact BGP は有意に減少した (9.67 ± 0.98 から 7.82 ± 0.98 ng/ml ; $P < 0.05$)。12週間のスリム教室後 intact BGP/TRAP 比は減少し (1.05 ± 0.11 から 0.61 ± 0.07 ; $P < 0.01$) 骨吸収の促進がみられた。

3. 考 察

本研究は、肥満傾向にある中高年女性の骨密度の実態を調査するとともに、減量と成人病の予防を目的として行われている運動トレーニングが骨密度に対してどのような影響をもたらすのかについて調べられた。その結果、本研究の肥満傾向にある中高年女性は、同年代の女性の平均値と比較して同程度以上の骨密度を持つことが示された。また、12週間のスリム教室における運動トレーニングによって骨密度の変化はみられなかった。

従来、体重と骨塩量には正の相関があるとする報告が多く⁵⁻⁷⁾、本研究の肥満傾向のある被験者においてもDEXA法により測定した40歳代から50歳代の健常な日本人女性の全身骨骨密度の平均値⁸⁾を上回った。また、本装置 (Lunar社製, DPX-L) のソフトウェアにデータベースとして組み込まれた日本人の同年齢の平均骨密度との比較においても、本被験者の骨密度は高い傾向を示した。しかしながら、被験者の中には大腿骨頸部と第1-4腰椎の% Age Matched が90から93



TRAP ; 酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ (Tartrate-Resistant Acid Phosphatase)
intact BGP ; オステオカルシン (intact Bone Gla-Protein)
intact BGP/TRAP ratio ; intact BGP/TRAP 比
平均値±標準誤差, * ; $P < 0.05$, ** ; $P < 0.01$ (前対後)

図1 スリム教室前後の血清骨代謝マーカーの測定値

%という低値を示した者がいたことから、肥満者においても平均値以下の低い骨密度を示す場合もあることに注意しなければならない。また、体重の過多が腰椎や大腿骨頸部に過大な力学的負荷となり骨折や様々な整形外科的愁訴を誘発させる危険性をもっている²⁾。とくに、腰背痛や下肢痛などの既往歴を有する者に対してはより詳細な骨塩量検査の実施が望ましいであろう。

スリム教室は、12週間にわたり歩行や速歩と低い負荷強度での筋力運動を組み合わせたトレーニングと調理実習を含む栄養指導、そして健康的に肥満改善を行うことを理解させるための運動・栄養・休養に関する講義により構成された。運動トレーニングは12週後に最大酸素摂取量の大幅な増加を引き起こしたことから、有酸素的な運動であったと思われる。それぞれの被験者は肥満改善に意欲的に取り組み、高い教室出席率 ($86.3 \pm 4.9\%$) と自主トレーニング実施回数 (2.0 ± 0.5 回/週) を示し、12週間後には -4.5 ± 0.5 kg ($P < 0.01$) の体重減少を引き起こした。DEXA 法による体組成の結果から、この体重減少は主に脂肪の減少により引き起こされ (3.6 ± 0.6 kg ; $P < 0.01$)、除脂肪量にはほとんど変化を示さなかった。また、12週間のスリム教室は、最高血圧や中性脂肪の減少も引き起こした。

12週間のスリム教室は、全身および局所の骨密度をほとんど変化させておらず、骨粗鬆症の予防に対して十分な効果を上げることはできなかった。しかしながら、12週間のトレーニングが骨に対して何も影響を及ぼさないということを結論することはできないであろう。本研究では、対照群の骨密度測定を行っていないので、同年代の健康な女性の骨密度が12週間でどの程度変化するのか評価できない。一般に、全身の骨塩量や骨密度は加齢により減少し、女性においては閉経後に急激な減少を示す。中高年女性では、運動トレーニングにより骨密度の増加がみられなくても、骨密度を維持

持することや減少の程度を抑えることでも十分に効果をもたらしているのかもしれない。これらの点についてはさらに検討が必要であろう。

成人の骨量は骨芽細胞による骨形成と破骨細胞による骨吸収のリモデリングのバランスと代謝回転速度により調節されている⁹⁾。今回、12週間のスリム教室による運動トレーニングは、骨吸収の指標とした酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼの有意な増加と骨形成の指標としたオステオカルシンの有意な減少を引き起こし骨吸収を促進させたが、全身および局所の骨密度には変化を引き起こさなかった。本実験結果からこの矛盾を説明することはできない。

今回の運動トレーニングは有酸素的な運動であったために、骨形成を促進させることができなかったのかもしれない。12週間後に骨のリモデリングにおいて吸収に傾いたとしても、その後には骨形成の促進がおこり骨塩量の増加を示すかもしれない。いずれにしても、12週間の有酸素的な運動トレーニングは骨密度を変化させなかったが骨代謝に対し影響をもたらした。このことが骨密度に今後どのような変化を引き起こすのか、さらに長期にわたる経過観察が必要と思われる。

4. まとめ

肥満傾向のある中高年女性 (年齢 : 49.4 ± 3.1 歳, BMI : 27.2 ± 0.5) を対象に12週間の運動トレーニングにより、体重、皮脂厚、最高血圧、血清中性脂肪の減少と最大酸素摂取量の増加を認めた。体組成測定 (DEXA 法) の結果、腕、脚、全身の脂肪組織量は有意な減少を示したが、除脂肪組織量と骨塩量は変化しなかった。いずれの部位においても骨密度の測定値には変化を認めなかった。骨代謝は12週間のトレーニング後に骨吸収を促進する傾向を示した。

以上のことから、肥満傾向にある中高年女性の12週間の有酸素的な運動トレーニングは、肥満の

改善と成人病予防に効果を認めるが骨粗鬆症の積極的予防のためには十分なものではないと思われる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、沖縄県総合健康増進センター健康度測定室の大城喜一郎室長ならびに関係者の方々にご協力をいただきました。また、スリム教室受講生の皆さんにも測定に快くご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 大城喜一郎, 古堅瑛子, 伊野波盛一, 瑞慶覧美作子, 上原順子, 高良宗貞, 与儀 隆, 外間政典; 肥満教室における減量効果について (第1報) — 医学的検査結果について, 沖縄公衆衛生学会誌, **21**, 73-80 (1990)
- 2) 松沢佑次, 小谷一晃; 肥満症へのアプローチ—その治療の重要性, 内科, **75**, 556-562 (1995)
- 3) Nagamine, S., Suzuki, S.; Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human Biol.*, **36**, 8-15 (1964)
- 4) Åstrand, I.; Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta. Physiol. Scand.*, **49** (Suppl. 169), 45-60 (1960)
- 5) Dawson-Hughes, B., Shipp, C., Sadowski, L., Dallal, G.; Bone density of the radius, supine, and hip in relation to percent of ideal body weight in postmenopausal women, *Calcif. Tissue Int.*, **40**, 310-314 (1987)
- 6) Ribot, C., Tremollieres, F., Pouilles, J. M., Bonneu, M., Germain, F., Louvet, J. P.; Obesity and postmenopausal bone loss: the influence of obesity on vertebral density and bone turnover in postmenopausal women; *Bone.*, **8**, 327-331 (1987)
- 7) Kin, K., Kushida, K., Yamazaki, K., Okamoto, S., Inoue, T.; Bone mineral density of the spine in normal Japanese subjects using dual-energy X-ray absorptiometry: effect of obesity and menopausal status, *Calcif. Tissue Int.*, **49**, 101-106 (1991)
- 8) 大村亮宏, 串田一博; 全身骨骨塩量と骨粗鬆症, 総合臨床, **42**, 455-458 (1993)
- 9) 森 論史, 真柴 賛, 乗松尋道; 骨の代謝のメカニズム—運動が骨動態に与える影響について, 臨床スポーツ医学, **11**, 1233-1238 (1994)