

筋力トレーニングと脱トレーニングによる骨量および脚パワーの増減率 ～痩身・低骨量の女子大生を対象として～

木村 瑞生^{*1} 山本 正彦^{*2}

The rate of change of bone mass and leg power by muscular strength training and de-training
in the lean women's college students

Mizuo Kimura^{*1} Masahiko Yamamoto^{*2}

Abstract

The purpose of the present study is to investigate the rate of change of calcaneal bone mass and leg power by muscular strength training and de-training in the lean women's students. Subjects were 11 women (18.5 ± 0.52 years old) with low body mass index (BMI: 17.5 ± 1.18). The experiments was conducted in order of a control period for 2 weeks (C), a muscular strength training period for 9 weeks (T) and de-training period for 6 months (Dt). The value of the bone mass after T was calculated as the rate of change (Bone-T) to the value of C. The value of the bone mass after Dt was calculated as the rate of change (Bone-Dt) to the value of T. The value of the leg power after T was calculated as the rate of change (Power-T) to the value of C. The value of the leg power after Dt was calculated as the rate of change (Power-Dt) to the value of T. Furthermore, the correlation coefficient of the relation between Bone-T and Bone-Dt (T/Dt-bone), and the correlation coefficient of the relation between Power-T and Power-Dt (T/Dt-power) was calculated, respectively. As a result, the mean values of Bone-T and Bone-Dt were +7.9% and -6.2%, respectively. The mean values of Power-T and Power-Dt were +27.8% and -11.0%, respectively. Thus, the pattern of the change of bone mass and leg power was similar. However, the correlation coefficient of T/Dt-bone ($r=-0.929$) and T/Dt-power ($r=0.117$) showed an obviously different value.

These results mean that individual difference is large in the response of the bone mass and muscular strength to the training and de-training. Furthermore, it was suggested that the intensity of physical training for maintaining the bone mass was different from that for maintaining the muscular strength.

はじめに

厚生労働省(2014)の平成24年国民健康・栄養調査結果の概要¹⁾によると、20～29歳の女性の痩せ(BMI18.5未満)の割合は、21.9%にも達していることが報告されている。これは同年齢の肥満者の割合(7.8%)より約3倍も高い数値である。このような瘦身体型の女性については、骨量も低いことが指摘されており(安部ら²⁾, 辻ら³⁾, 山田ら⁴⁾、彼女らの将来の骨の健康が危惧されている。

近年、骨量を増加させる有効な手段として骨への衝撃が強いハイ・インパクトトレーニング、いわゆるジャンプトレーニングの効果に関する研究報告がある(Bessey et al.⁵⁾, Johannsen et al.⁶⁾, Kato et al.⁷⁾)。また、女性を対象とした筋力トレーニングと骨量に関する研究

(Friedlander et al.⁸⁾, 木村ら⁹⁾, 鈴木ら¹⁰⁾)や下肢の筋力やパワーと骨量との高い関連性を示した研究(Alfredson et al.¹¹⁾, 仲立ら¹²⁾, Winters & Snow¹³⁾¹⁴⁾, Witzke & Snow¹⁵⁾)などの報告もある。これらの報告から、痩身・低骨量の女子大生の骨量を増すには、ジャンプや筋力トレーニングのような物理的に強い荷重を骨に定期的に課すことが必要となる。しかしながら、女子大生の定期的なトレーニングの管理が可能な時期は授業実施期間の前期または後期に限られ、夏期休暇中や春期休暇中はトレーニングの中止を余儀なくされる。つまり、トレーニングと脱トレーニング、そして、再トレーニングの繰り返しが一般学生の場合の身体トレーニング実践の現状である。Winters & Snow¹⁴⁾は、閉経前の女性29名を対象に12カ月のトレーニング(ジャンプトレーニング+下肢のレジスタンストレーニング)

*1 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター教授 *2 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター准教授
2014年9月17日 受理

2 筋力トレーニングと脱トレーニングによる骨量および脚パワーの増減率～痩身・低骨量の女子大生を対象として～

とその後の6カ月の脱トレーニングを実施させ、骨量(BMD)と下肢の筋力の変化について報告している。その結果、週3日の頻度で12カ月のトレーニング後に骨量も下肢筋力も有意に増加したが、6カ月の脱トレーニングによってそれらは有意に減少し、トレーニング前の値に近づいたことを示している。この結果は、骨量も筋力もトレーニングと脱トレーニングによって、あたかも同程度の変化率で増減するかのように思わせる。しかしながら、個々の被験者の筋力トレーニングと脱トレーニングによる骨量及び筋力の増加と減少の割合(増減率)についての詳細な研究報告はない。

そこで、本研究では痩身・低骨量の女子大生を対象に、下肢筋力トレーニングと脱トレーニングによる各被験者の踵骨骨量と下肢筋力それぞれの増減率の関係を明らかにすることを目的とした。

方 法

1. 被験者

被験者は、運動習慣のない痩身で且つ低骨量の女子大生11名(18.5±0.52歳)であった(表1)。実験を開始する前に被験者に対して、実験内容や実験期間が約10カ月にわたること、そして実験開始後いつでも辞退できることを説明した。本実験は、すべての被験者から実験への協力の同意を得た後に実施した。

表1 被験者(11名)の身体的特徴

	年齢	身長(cm)	体重(kg)	BMI(kg/m ²)	体脂肪率(%)	LBM(kg/m)
平均値	18.5	158.8	44.2	17.5	17.9	22.9
SD	0.52	6.78	3.88	1.18	1.96	1.27

2. 測定項目

本研究では、被験者の右踵骨骨量を超音波骨量測定装置 Benus III (石川製作所) を用いて測定した。本装置で算出された骨梁面積率は、骨量の指標として認められている(影近ら¹⁶⁾¹⁷⁾。体格の測定項目は、身長、体重、BMI、体脂肪率、除脂肪量相対値(LBM)であった。筋力の測定項目は、下肢筋力の指標として脚伸展パワーとした。体脂肪率と脚伸展パワーは、それぞれ TBF-20 (タニタ社製) とアネロプレス 3500 (コンビ社製) を用いて測定した。

3. 筋力トレーニングと脱トレーニング

本研究において被験者に課した下肢の筋力トレーニングは、マシンを使ったレッグ・プレス、レッグ・エクステンション、レッグ・カールの3種目であった。各種目の負荷は1.5RM (repetition maximum) とし、3種目を遂行して1セットとした。各被験者の1日のトレーニングノルマは、1セット以上とし、週2日の頻度で9週間のトレーニング期間を設定した。そして、トレーニング期間終了後

の6ヵ月間を脱トレーニング期間とし、各被験者には定期的な運動をせず、トレーニング前と同様の日常生活を過ごすように要請した。

4. 実験のプロトコル

本研究では筋力トレーニングによる骨量増減率と脱トレーニングによる骨量増減率の関係(Bone-T/Dt 関係)および筋力トレーニングによる脚伸展パワー増減率と脱トレーニングによる脚伸展パワー増減率の関係(Power-T/Dt 関係)を調べるために、2週間のコントロール実験(C)、9週間の筋力トレーニング実験(T)、6ヵ月間の脱トレーニング実験(Dt)が実施された。2週間のC実験の期間では、体格、脚伸展パワー、骨量などが変化せずに一定の値であることを確認した。その後、9週間のT実験後と引き続き6ヵ月間のDt実験後に体格、脚伸展パワー、骨量の測定を実施した。

5. データ解析

C実験、T実験、Dt実験において測定した各被験者の体格(体重、LBM)、脚伸展パワー、骨量の平均値の差の検定には、対応のある1要因分散分析を用いた。有意水準は5%とし、有意差が得られた場合には Turkey の HSD 法を用いて多重比較検定を実施した。

T実験による骨量および脚伸展パワーの増減率、Dt実験による骨量および脚伸展パワーの増減率は、以下の計算式によって求めた。

・T実験による骨量および脚伸展パワーの増減率(%)

$$= (T \text{ 実験後の測定値} - C \text{ 実験の測定値}) \div C \text{ 実験の測定値} \times 100$$

・Dt実験による骨量および脚伸展パワーの増減率(%)

$$= (Dt \text{ 実験後の測定値} - T \text{ 実験後の測定値}) \div T \text{ 実験後の測定値} \times 100$$

結 果

1. 被験者の体格

全被験者のC実験における体格を表1に示した。BMIの平均値は17.5±1.18kg/m²を示し、低体重の基準である18.5kg/m²を明らかに下回っていた。体脂肪率(%)、

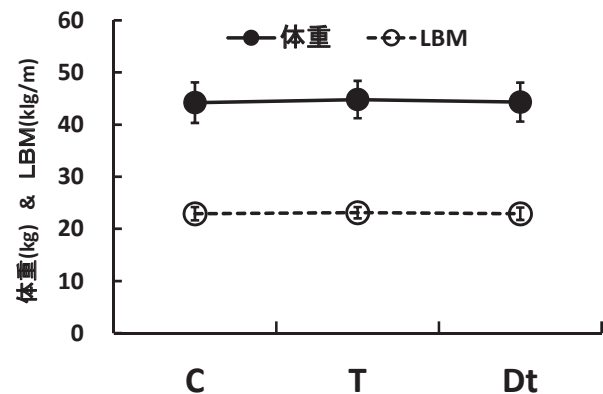


図1 実験期間中の体重とLBMの変化

C: コントロール実験, T: トレーニング実験, Dt: 脱トレーニング実験

LBM (kg/m) の平均値もそれぞれ $17.9 \pm 1.96\%$ 、 $22.9 \pm 1.27\text{kg/m}$ と極めて低い値であった。また、体重と LBM はそれぞれ実験期間中ほぼ一定の値を維持し、有意差は示されなかった (図 1)。

2. 骨梁面積率と脚伸展パワーの変化

C 実験、T 実験、Dt 実験における骨梁面積率と脚伸展パワーそれぞれの平均値の変化を図 2 A、B に示した。T 実験の骨梁面積率と脚伸展パワーは、C 実験の値と比較してそれぞれ有意水準 5% と 1% で増加を示した。Dt 実験においては、骨梁面積率も脚伸展パワーも T 実験の値に対してそれぞれ減少傾向を示したが、有意差は認められなかった。

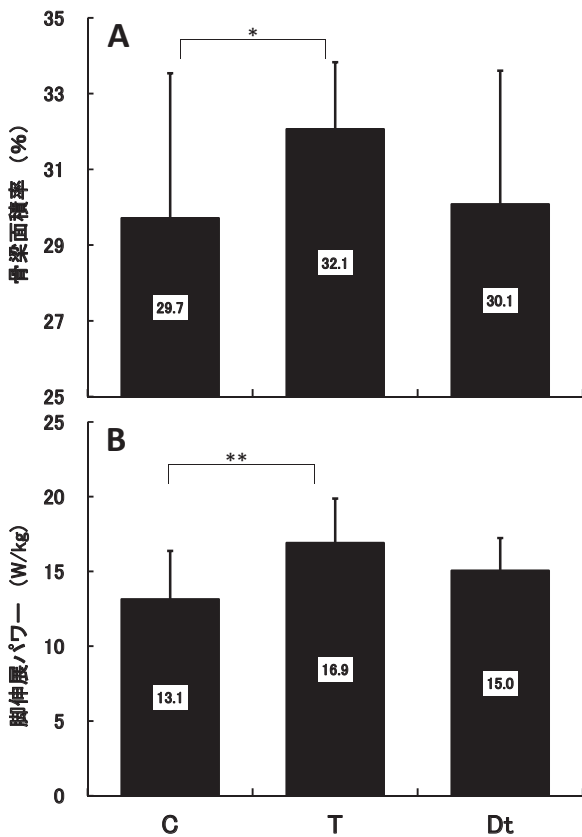


図 2 筋力トレーニングと脱トレーニングによる骨量と脚伸展パワーの変化

A : 骨量, B : 脚伸展パワー
 C : コントロール実験, T : トレーニング実験,
 Dt : 脱トレーニング実験
 * : $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

3. 骨量増減率と脚伸展パワー増減率

被験者 11 名の骨量の平均増減率および脚伸展パワーの平均増減率をそれぞれ図 3 A、B に示した。T 実験の骨量の平均増減率は +7.9%、脚伸展パワーの平均増減率は +28.7% であった。一方、Dt 実験の骨量の平均増減率は

-6.2%、脚伸展パワーの平均増減率は -11.0% であった。このように、筋力トレーニングによって骨量も脚伸展パワーも増加し、脱トレーニングによって骨量も脚伸展パワーも減少することが示された。

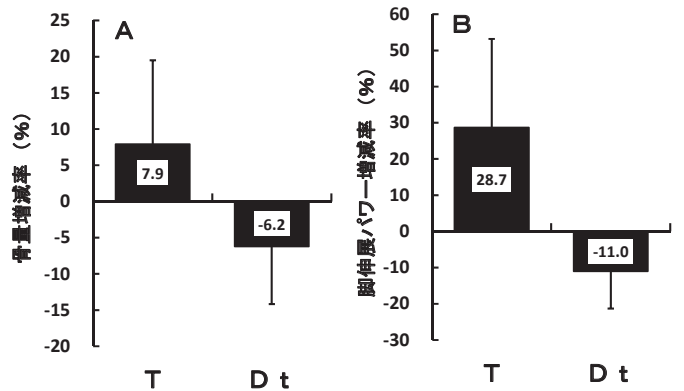


図 3 筋力トレーニングと脱トレーニングによる骨量と脚伸展パワーの平均増減率

A : 骨量の平均増減率, B : 脚伸展パワーの平均増減率
 T : トレーニング実験の平均増加率
 Dt : 脱トレーニング実験の平均増減率

4. 筋力トレーニングによる骨量増減率と脱トレーニングによる骨量増減率の関係 (Bone-T/Dt 関係)

被験者 11 名の Bone-T/Dt 関係を図 4 に示した。T 実験の骨量増減率がマイナスの値を示した被験者 (-0.6%) は、11 名中 1 名存在した。また、T 実験の骨量増減率が +0.6% から +10% の範囲内の 7 名の被験者は、Dt 実験の骨量増減率も -10% から +5% の範囲内に収まった。これに対して、T 実験の骨量増減率が +18% 以上の 3 名の学生は、Dt 実験の骨量増減率も -24% から -12% と大きな値を示した。このように、Bone-T/Dt 関係には非常に高い有意な負の相関 ($r = -0.929$) が示された。

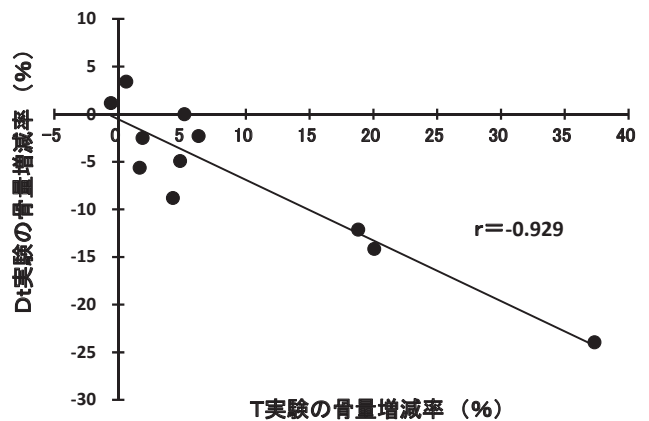


図 4 T 実験による骨量増減率と Dt 実験による骨量増減率の関係

5. 筋力トレーニングによる脚伸展パワー増減率と脱トレーニングによる脚伸展パワー増減率の関係 (Power-T/Dt 関係)

被験者 1 1 名の Power-T/Dt 関係を図 5 に示した。T 実験の脚伸展パワーの増減率は+3.8%から+79.7%の範囲に分散し、マイナスの被験者は一人もいなかった。このうち 5 名の被験者は、Dt 実験の脚伸展パワー増減率が-3.0%から+1.2%の値を示し、T 実験の値をほぼ維持した。残りの被験者 6 名については、T 実験の脚伸展パワー増減率の大小と Dt 実験の脚伸展パワー増減率の大小との間に一定の傾向は認められなかった。このように被験者 1 1 名の Power-T/Dt 関係には有意な相関 ($r=0.117$) は示されなかった。

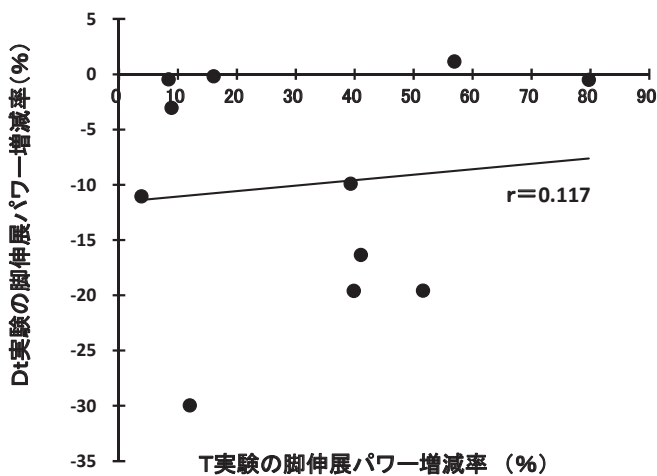


図 5 T 実験の脚伸展パワー増減率と Dt 実験の脚伸展パワー増減率の関係

考 察

本研究では、将来の骨の健康が危ぶまれる痩身・低骨量の女子大生を対象に、筋力トレーニングと引き続く脱トレーニングによる骨量の増減率の関係および脚筋力の増減率の関係について調べた。

1. 骨量および脚伸展パワーに及ぼす体重と LBM の影響

Madsen et al.¹⁸⁾ と Witzke & Snow¹⁵⁾は、若年女性を対象に LBM と骨量の関係について調べ、LBM が骨量の最も重要な予測変数であると報告している。本研究の被験者の LBM は、約 10 ヶ月の実験期間中ほぼ一定の値を保った。また、体重もほぼ一定であった (図 1)。したがって、本研究によって示された T 実験、Dt 実験の骨量の変化 (図 2) は、LBM や体重などの身体的要因によるものではないと考えられる。さらに、LBM が実験期間中ほぼ一定であったことから、T 実験、Dt 実験の脚伸展パワーの変化

は、筋量の変化によるものではないと推測される。

2. 骨量に及ぼす筋力トレーニングと脱トレーニングの影響

本研究では、骨量は筋力トレーニングにより平均 7.9%増加し、脱トレーニングにより平均 6.2%減少した (図 3 A)。中村¹⁹⁾は、日常生活で骨にかかる荷重のピーク値が増すと骨の強度はそれに応じて増加し、逆にそのピーク値が減少すると骨の強度は低下すると述べている。つまり、本研究の女子学生にとっては、マシンを使った下肢の筋力トレーニングが彼女らの踵骨に十分な荷重刺激となり、その結果として踵骨骨量が増加したものと考えられる。逆に、脱トレーニングによって骨量が減少したことは、彼女らの日常生活の身体活動では骨への荷重刺激が不十分であることを意味している。

3. 脚伸展パワーに及ぼす筋力トレーニングと脱トレーニングの影響

本研究では、脚伸展パワーは T 実験により 28.7%増加し、Dt 実験より 11.0%減少した (図 3 B)。Häkkinen & Komi²⁰⁾は、14 人の男性を対象に 16 週間の筋力トレーニングと 8 週間の脱トレーニングの実験において、筋力の増加と減少を示した。そして、その原因として神経系の要因を挙げている。本研究ではわずか 9 週間の筋力トレーニングであることを考えると、今回の筋力の増加と減少は筋の組織的な変化ではなく、彼らが考察した神経系の要因が大きいものと推測される。

4. Bone-T/Dt 関係と Power-T/Dt 関係

Winters & Snow¹⁴⁾は、閉経前の女性 29 名を対象に 12 カ月のトレーニングとその後の 6 か月の脱トレーニングによる骨量 (BMD) と下肢筋力の増減を調べた。その結果、骨量も下肢筋力もトレーニングにより増加し、脱トレーニングにより減少することを示した。彼らの結果は、本研究の骨量と脚伸展パワーの結果 (図 2、図 3) においても同様に示された。しかし、本研究の 11 名の被験者から得られた Bone-T/Dt 関係および Power-T/Dt 関係は、集団の平均値を比較した結果とは異なる様相を呈した (図 4、図 5)。図 4 の Bone-T/Dt 関係においては、非常に高い負の相関 ($r=-0.929$) が示された。この結果は、T 実験により骨量の増加の割合が大である者ほど Dt 実験による骨量の減少の割合も大であるということを示している。このように低骨量の女子大生の場合、骨への荷重負荷の有無に対する応答が早期に生ずるものと思われる。これに対して、脚伸展パワーについては、5 名の被験者が T 実験によって増加した脚伸展パワーの値を Dt 実験後も減少することなく維持していた (図 5)。そのうちの 1 名の被験者は、T 実験により最も脚伸展パワーの増加の割合 (増減率+79.7%) が大であった。このことは、脚伸展による瞬発的な力発揮にかかわる運動単位の動員や発火様式、あるいは下肢の筋群の参画様式などの神経系の働きが、

脱トレーニング後も維持されたためであると推測される。これは、大森ら²¹⁾が考察した神経-筋記憶 (Nerve-Muscle Memory) を示唆するものである。

このように筋力トレーニングによって増加した脚伸展パワーには、中枢神経系の働きが強く関与しており、それが、脱トレーニングに対する骨量と脚伸展パワーの応答の違いをもたらした原因のひとつであると考えられる。

まとめ

本研究の目的は、痩身・低骨量の女子大生11名 (18.5 ± 0.52 歳) を対象に9週間の下肢の筋力トレーニングと引き続く6カ月間の脱トレーニングを実施し、T 実験の骨量増減率と Dt 実験の骨量増減率の関係 (Bone-T/Dt 関係) および T 実験の脚伸展パワー増減率と Dt 実験の脚伸展パワー増減率の関係 (Power-T/Dt 関係) を明らかにすることであった。結果として、T 実験の骨量増減率の平均値と脚伸展パワー増減率の平均値は、それぞれ +7.9% と +28.7% であった。Dt 実験の骨量増減率の平均値と脚伸展パワー増減率の平均値は、それぞれ -6.2% と -11.0% であった。このように、踵骨骨量も脚伸展パワーも筋力トレーニングにより増加し、脱トレーニングにより減少する同様の傾向を示した。しかしながら、11名の被験者から求めた Bone-T/Dt 関係と Power-T/Dt 関係を比較すると、明らかな違いが示された。Bone-T/Dt 関係の相関係数は非常に高い値 ($r = -0.929$, $p < 0.001$) を示したのに対し、Power-T/Dt 関係のその値は明らかに低い値 ($r = 0.117$) であった。

これらの結果から筋力トレーニングによって増加した骨量あるいは脚筋力を維持するための日常生活動作の強度は、それぞれ異なることが示唆された。

参考文献

- 厚生労働省 (2014) 平成 24 年国民健康・栄養調査結果の概要. 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室.
- 安部孝・緑川泰史・真田樹義・児島康介・青葉貴明・松本高明 (2003) 痩身若年女性の骨格筋量と臓器重量. 体力科学, 52(6):946.
- 辻秀一, 山崎元 (1997) 骨にかかるメカニカルストレスの変化—少なすぎる. 骨粗鬆症—. J. J. Sports Sci., 16(1):85-89.
- 山田亜希子・増田温子・田中千鶴・北村裕美・湊久美子・中原凱文 (2007) 痩身志向女子大生の骨量指標の特性. 体力科学, 55(6):1019.
- Bessey E. J., Ramsdale S. J., (1994) Increase in femoral bone density in young women following high-impact exercise. Osteoporos Int., 4:72-75.
- Johannsen N., Binkly T., Englert V., Neiderauer G., Specker B., (2003) Bone response to jumping is site-specific in children: a randomized trial. Bone, 33:533-539.
- Kato T., Terashima T., Yamashita T., Hatanaka Y., Honda A., Umehara Y., (2006) Effect of low-repetition jump training on bone mineral density in young women. J. Appl. Physiol., 100:839-843.
- Friedlander A. L., Genant H. K., Sadowsky S., Byl N. N., Glüer C. C., (1995) A two-year program of aerobics and weight training enhances bone mineral density of young women. J. Bone Miner. Res., 10(4):574-585.
- 木村瑞生 (2011) 痩身・低骨量女子大学生の踵骨骨量の変動性. 保健の科学, 53(1):65-70.
- 鈴木なつ未・相沢勝治・銘苅瑛子・朱美賢・村井文江・向井直樹・目崎登 (2007) 月経周期における一過性レジスタンス運動時の骨代謝応答. 体力科学, 56:215-222.
- Alfredson H., Nordström P., Lorentzon R., (1996) Total and regional bone mass in female soccer players. Calcif. Tissue Int., 59(6):438-442.
- 仲立貴・韓一栄・井川正治・桜井忠義・中野昭一・呉泰雄 (2003) 中・老年女性における歩行速度と下肢筋力, 骨密度の関係. 体力科学, 52(6):862.
- Winters K. M., Snow C. M., (2000a) Body composition predicts bone mineral density and balance in premenopausal women. J. Womens Health Gen. Besed Med., 9(8):865-872.
- Winters K. M., Snow C. M., (2000b) Detraining reverses positive effects of exercise on the musculoskeletal system in premenopausal women. J. Bone Miner. Res., 15:2495-2503.
- Witzke K. A., Snow C. M., (1999) Lean body mass and leg power best predict bone mineral density in adolescent girls. Med. Sci. Sports. Exerc., 31:1558-1563.
- 影近謙治・末吉泰信・北岡克彦・河北整・富田勝郎・立野勝彦 (1995) 超音波による骨量面積率測定法の有用性の検討. Jpn. Rehabil. Med., 32(11):748.
- 影近謙治・末吉泰信・北岡克彦・河北整・富田勝郎 (1996) 骨梁面積率による超音波骨量測定装置の有用性の検討. 新しい医療機器研究, 3(2):9-18.
- Madsen K. L., Adams W. C., Van Loan M. D., (1998) Effects of physical activity, body weight, composition and muscular strength on bone density in young women. Med. Sci. Sports Exerc., 30:114-120.
- 中村利孝 (2000) 運動と骨代謝. 臨床スポーツ医学, 17(10) : 1191-1197.
- Häkkinen K., Komi P. V., (1983) Electromyographic

6 筋力トレーニングと脱トレーニングによる骨量および脚パワーの増減率～痩身・低骨量の女子大生を対象として～

change strength training and detraining. Med. Sci. Sports Exerc., 15(6):455-460.

21) 大森肇・渡邊彰人・大山圭吾・佃文子・高橋英幸・久米俊郎・白木仁・岡田守彦・板井悠二・勝田茂(2000) 神経・筋でのトレーニング効果は記憶される. 体力科学, 49 : 385-392.