

# 牛乳・プロテインを付加したレジスタンストレーニングが 減量に伴う骨密度の変化に及ぼす影響

筑波大学体育科学系 田 中 喜代次  
筑波大学大学院 中 田 由 夫  
李 東 俊  
大河原 一 憲  
魏 丞 完  
片 山 靖 富子  
澤 入 房 子

## 要 約

体重が骨量に影響を与える因子の1つであることはよく知られているが、減量と骨量の関連性についての結論はいまだ得られていない。本研究では、カルシウムとたんぱく質を十分に摂取させ、除脂肪量を維持しながら体重を減少させることができれば、減量に伴う骨量の減少を抑制できるという仮説を検証した。対象者は、中年肥満女性63名（平均年齢41.9±7.3歳）であり、食事制限のみをおこなうD群21名と、食事制限に加えてウォーキングを実践するDW群21名、食事制限に加えてレジスタンストレーニングを実践するDR群21名に分けられた。減量前後の測定を受けた53名について検討した結果、体脂肪率については時間×介入方法の交互作用がみとめられたが、筋量については群間差がみとめられず、すべての群で有意に減少した。骨密度については、D群において全身骨骨密度が、DW群において橈骨骨密度が有意に減少したが、DR群ではいずれの骨密度も維持された。以上の結果および先行研究で得られている知見を総合すると、牛乳・プロテインを付加することによって骨量の減少が抑制されると推察されるが、この点については、今後のより詳細な検討が必要である。

キーワード：減量、骨密度、牛乳、プロテイン、レジスタンストレーニング、除脂肪量、筋量

## はじめに

日本人を対象とした多くの疫学的研究<sup>1-3)</sup>によって、体重が骨量と有意な正の関連を示すことが報告されている。このことから、体重は骨量に影響を与える主な因子の1つと考えられ、その機序は体重が骨にかける力学的負荷（mechanical stress）によって説明される。骨は、体重に限らず何らかの力学的負荷が加わると、その負荷に適応するように変化する。このことは1世紀以上前からWolffの法則として知られ、運動療法に應用されている。したがって、恒常的な負荷として働く体重の影響は大

きく、体重の増加または維持が、骨量の減少を予防するために重要な役割を果たすと考えられる。しかし、体重と骨量の関連性を報告した研究のほとんどが横断研究によるものであり、体重の変化に伴う骨量の変化について、定まった見解は得られていない。そこで、筆者らは、体重減少に伴う骨量の変化について縦断的に検討することにより、同一個人内での体重変化と骨量の関連性についての理解を深めようとしている<sup>4-6)</sup>。

減量に伴う骨量の変化についての研究報告は、対象を日本人に限ると1992年のNishizawa et al.<sup>7)</sup>の報告以降、筆者らの報告を除くと皆無である。国外においては、筆者らの知る限り、この10年間で20本ほど発表されている。その中では、減量に伴い骨量が減少する<sup>8, 9)</sup>、減量しても骨量は変化しない<sup>10-11)</sup>、という相反する結果が報告されている。つまり、いまだ減量と骨量の関連性についての結論は導かれていないというのが現状である。筆者らはこれまでの介入研究<sup>4-6)</sup>で、①減量に伴い骨塩量、骨密度とも有意に減少すること、②減量プログラムの中で有酸素性運動を実践させても、骨量の減少を抑制できないことを示唆している。

最近、Jensen et al.<sup>12)</sup>は、減量中に1gのカルシウムを付加することにより、体重減少に伴う骨量の減少を部分的には抑制できる（腰椎の骨量減少は抑制できたが、全身骨の骨量減少は抑制できなかった）ことを示唆している。筆者らも先行研究<sup>4-6)</sup>において、食事制限に伴うカルシウム摂取量の低下に配慮し、牛乳・乳製品を毎食80kcal分は摂取するように指導した。そのため、減量中のカルシウム摂取量は減量前と比べて増加していた（585mg→834mg）。しかし、Jensen et al.<sup>12)</sup>は一般に推奨されている所要量以上にカルシウムを摂取することが、減量に伴う骨量の減少を抑制することにつながる、と主張していることから、より積極的な栄養指導が必要だと考えられる。

運動については、Frost<sup>13)</sup>が提案するように、骨と力学的負荷の関係は密接であることから、その有効性は十分に期待できる。運動の種類としては、より高い負荷を与えるレジスタンストレーニングが有効であることが示されている<sup>14)</sup>。また、Valdimarsson et al.<sup>15)</sup>が報告しているように、除脂肪量と骨量の関連性が高いことから、食事制限に加えてレジスタンストレーニングを実践させ、除脂肪量の減少を抑制することが、骨量の減少を抑制することにつながると思われる。

そこで本研究では、カルシウムとたんぱく質を十分に摂取させ、除脂肪量を維持しながら体重を減少させることができれば、減量に伴う骨量の減少を抑制できると考え、この仮説を検証することを目的とした。

## 方 法

### 1. 対象者

対象者は、地域情報誌にて募集した茨城県に在住する中年肥満女性63名（平均年齢41.9±7.3歳）であった。選定条件は、①定期的な月経を有し、②日本肥満学会<sup>16)</sup>が定めた肥満の判定基準であるbody mass index (BMI)  $\geq 25$ を満たすものとした。対象者は、食事制限のみをおこなう (diet: D) 群21名

と、食事制限に加えてウォーキングを実践する (diet and walking: DW) 群21名、食事制限に加えてレジスタンストレーニングを実践する (diet and resistance training: DR) 群21名に分けられた。対象者の身体的特徴は表1に示した。いずれの項目においても、3群間に有意な差はなかった。なお、教室前の段階では、対象者の中に骨代謝に影響を与える疾患を持つ者や薬物療法を受けている者はいなかった。対象者には、研究の内容および目的を詳細に説明し、研究参加の同意を得た。

Table 1. Personal and anthropometric characteristics of the subjects at baseline.

	D (n = 21)	DW (n = 21)	DR (n = 21)	One-way ANOVA
Age (yr)	41.7 ± 6.9	41.1 ± 8.0	42.9 ± 7.3	ns
Height (cm)	156.6 ± 6.3	157.7 ± 5.3	157.3 ± 5.2	ns
Weight (kg)	68.4 ± 6.8	68.9 ± 7.3	69.0 ± 7.9	ns
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	27.9 ± 2.9	27.7 ± 2.4	27.9 ± 2.5	ns
%fat (%)	34.5 ± 3.4	35.6 ± 3.4	35.6 ± 2.6	ns

Values are presented as means ± standard deviations.

D = diet; DW = diet + walking; DR = diet + resistance training;

BMI = body mass index.

Weight were measured by a scale, and %fat were measured by a bioelectrical impedance method.

## 2. 測定項目および測定方法

測定項目は、身長 (height) および二重エネルギーX線吸収法 (dual energy X-ray absorptiometry: DEXA) で全身骨測定から得られる骨密度 (bone mineral density: BMD), 骨塩量 (bone mineral content: BMC), 体脂肪率 (%fat), 脂肪量 (fat), 筋量 (fat- and bone-free lean tissue mass: lean) であった。また、BMC + fat + leanを体重 (weight),  $\text{weight}/\text{height}^2$  (kg/m<sup>2</sup>) をBMIとして算出した。なお、leanは筋量以外の重量も含む除脂肪除骨塩量であるが、実際の筋量との相関が極めて高い<sup>17, 18)</sup>ため、本研究ではleanを筋量とみなした。全身骨の測定後、腰椎 (L2-4) 正面および橈骨1/3遠位部のBMDを測定した。測定機器はLunar社製DPX-L (Version 1.35) であった。さらに、Aloka社製AOS-100により右踵骨の超音波骨評価指標 (osteo sono-assessment index: OSI) を測定した。

上記の骨量測定と平行して、早朝空腹時に血液、早朝第2尿を採取した。血液サンプルからは、骨型アルカリフォスファターゼ (bone specific alkaline phosphatase: BAP), オステオカルシン (osteocalcin: OC) を骨形成マーカーとして分析し、尿サンプルからは、デオキシピリジノリン架橋 (deoxypyridinoline cross-links: DPD), I型コラーゲンN末端テロペプチド (type I collagen cross-linked N-telopeptides: NTX) を骨吸収マーカーとして分析した。分析方法は、BAP, DPD, NTXは酵素免疫測定法 (enzyme immunoassay: EIA), OCは免疫放射定量法 (immuno radio metric assay: IRMA) により、DPDとNTXの値はクレアチニンで補正した。

### 3. 食事プログラム

食事指導の内容は、すべての群に共通したものである。本研究では摂取エネルギーを抑えながらも良好な栄養状態を維持する目的で、減量補助食品としてその顕著な効果が認められている<sup>19, 20)</sup> マイクロダイエット（サニーヘルス社）の使用を指示した。マイクロダイエットは英国のサリー大学生化学教室で開発、ユニバイト・ニュートリション社（英国）により製品が市販化され、わが国ではサニーヘルス社（長野）によってライセンス生産されている。1食分のエネルギーは169~173kcalであり、たんぱく質、糖質、脂質、アミノ酸、ビタミン、ミネラルなどをバランスよく摂取することが可能であり、1食に求められる各栄養素の摂取基準<sup>21)</sup>をほぼ満たしている。摂取頻度は原則として、最初の1ヵ月間は1日1食、その後はできるだけ利用しないように勧めた。その他の食事は1食あたり400~600kcal程度に抑えた栄養バランスのよい食事を摂取するように指導し、1日の摂取エネルギーは1,200kcalを目標とした。対象者には1食ごとの食事内容を記録させ、各教室参加時に提出させた。その記録をもとに摂取エネルギーを確認し、管理栄養士が食習慣などについて栄養指導した。たんぱく質およびカルシウムを十分に確保するために、すべての群に対してホエイプロテイン（明治乳業）を1日1袋、低脂肪乳200mlに混ぜて摂取させた。プロテインサプリメントと低脂肪乳を合わせると、1回あたりたんぱく質19.8g、カルシウム417mgの摂取が可能である。これまでに開催した減量教室の結果では、教室中のたんぱく質摂取量は $62.4 \pm 16.0$ g、カルシウム摂取量は $826 \pm 251$ mgであるから、サプリメントの使用により、たんぱく質摂取量は80g、カルシウム摂取量は1200mgを超えると推定された。

### 4. 運動プログラム

運動指導に関しては、DW群に対しては90分間の運動指導を週1回、DR群に対しては週3回実施した。指導内容は、15分間のウォーミングアップ、60分間の主運動、15分間のクーリングダウンであった。

DW群の主運動はウォーキングであり、教室に来ない日も自宅でウォーキングを実践するように指示した。運動強度は自覚的運動強度13（ややきつい）あたりを目標にした。運動時間は、開始初期は20~30分程度に抑え、膝関節などの障害を起こさぬように配慮した。運動時間は徐々に長くし、30~60分間のウォーキングを習慣化させた。運動による消費エネルギーは週あたりの平均で1,000~1,500kcalと推定された。

DR群の主運動は、初めは自体重やダンベル、チューブなどを用いた低強度のレジスタンストレーニングであり、徐々にフリーウエイトを用いた高強度のレジスタンストレーニングを導入していった。種目はスクワット、ベンチプレス、レッグカール、レッグエクステンション、クランチを中心とし、ダンベルフライやアームカールなどを補助的に行わせた。最初の1ヵ月間はレジスタンス運動に慣れることを重視し、2ヵ月目以降は最大筋力の60~70%に負荷を設定し、10~12回の反復動作を2~5セット実践させた。

## 5. 統計処理

各項目の測定結果は、平均値±標準偏差で表した。減量に伴う各項目の変化に対する群間比較には、二元配置の分散分析（時間×介入方法）を用い、有意性の認められた項目についてはBonferonniの事後検定を施した。減量前の各測定項目の群間比較には一元配置の分散分析を、減量前後における平均値の変化には対応のあるt検定を適用した。すべての統計解析には、SPSS 11.0Jを用い、統計学的有意水準を5%に設定した。

## 結 果

教室期間中、家庭の事情により3名（D群2名、DR群1名）、個人の事情により2名（D群1名、DW群1名）が教室に参加できなくなったため、教室後の測定を受けることができなかった。また、3名（D群1名、DW群1名、DR群1名）が測定機器の故障のため、教室前の測定を受けることができなかった。さらに、DW群の1名は教室期間中にホルモン剤、カルシウム剤の処方を受けるようになり、DR群の1名は途中からDW群へ移ったため、分析から除外した。したがって、分析の対象は53名（D群17名、DW群18名、DR群18名）であった。

体重および身体組成の変化については、表2に示した。体重、体脂肪率ともにすべての群で有意に減少した。体脂肪率については時間（pre, post）×介入方法（D, DW, DR）の交互作用が有意であったが、事後検定による群間差はみとめられなかった。筋量は運動併用の有無にかかわらず、すべて

Table 2. Changes in body composition measured by dual energy X-ray absorptiometry.

	D (n = 17)	DW (n = 18)	DR (n = 18)	Two-way ANOVA
Weight (kg)				
Pre	67.2 ± 7.0	68.1 ± 7.5	68.5 ± 8.0	
Post	60.9 ± 5.4 *	59.6 ± 7.7 *	59.9 ± 6.6 *	ns
%Change	-9.1 ± 4.4	-12.6 ± 4.9	-12.4 ± 4.4	
%fat (%)				
Pre	32.9 ± 6.2	35.0 ± 4.5	35.2 ± 4.9	
Post	28.9 ± 5.8 *	27.9 ± 7.0 *	28.8 ± 6.0 *	#
%Change	-12.1 ± 6.4	-21.1 ± 12.8	-18.7 ± 8.9	
Fat (kg)				
Pre	22.3 ± 5.6	24.1 ± 5.4	24.3 ± 5.3	
Post	17.7 ± 4.2 *	17.0 ± 6.3 *	17.4 ± 4.9 *	#
%Change	-19.9 ± 8.5	-30.5 ± 14.3	-28.5 ± 10.6	
Lean (kg)				
Pre	42.5 ± 4.5	41.6 ± 3.6	41.7 ± 4.4	
Post	40.7 ± 4.1 *	40.1 ± 3.2 *	39.9 ± 4.1 *	ns
%Change	-3.9 ± 3.3	-3.5 ± 2.3	-4.2 ± 2.8	
BMC (kg)				
Pre	2.46 ± 0.29	2.50 ± 0.26	2.47 ± 0.26	
Post	2.46 ± 0.28	2.46 ± 0.25 *	2.49 ± 0.28	#
%Change	0.1 ± 2.3	-1.6 ± 1.2	0.9 ± 3.0	

Values are presented as means ± standard deviations.

D = diet; DW = diet + walking; DR = diet + resistance training;

BMC = bone mineral content

\*Significant by difference between pre and post ( $P < 0.05$ ).

# Though significant in two-way ANOVA ( $P < 0.05$ ), not significant in post hoc test.

の群で有意に減少し、3群間で比較しても有意な差はなかった。

全身骨のBMCの変化については表2、全身骨、腰椎、橈骨のBMDと踵骨OSIの変化については表3に示した。全身骨BMCはDW群においてのみ有意に減少し、全身骨BMDはD群のみ有意に減少した。部位ごとにみると、腰椎BMD、踵骨OSIは3群とも維持されたが、DW群の橈骨BMDは有意に減少し

Table 3. Changes in bone mineral densities and OSI.

	D (n = 17)	DW (n = 18)	DR (n = 18)	Two-way ANOVA
Total Body				
Pre	1.197 ± 0.057	1.211 ± 0.056	1.203 ± 0.076	
Post	1.192 ± 0.060*	1.210 ± 0.057	1.201 ± 0.074	ns
%Change	-0.5 ± 0.7	-0.1 ± 0.8	-0.2 ± 1.0	
Lumbar spine				
Pre	1.258 ± 0.111	1.255 ± 0.120	1.247 ± 0.100	
Post	1.253 ± 0.108	1.259 ± 0.132	1.246 ± 0.117	ns
%Change	-0.3 ± 1.9	0.3 ± 2.1	-0.2 ± 2.7	
Radius				
Pre	0.687 ± 0.062	0.699 ± 0.052	0.683 ± 0.058	
Post	0.688 ± 0.066	0.691 ± 0.052*	0.681 ± 0.066	ns
%Change	0.2 ± 1.8	-1.2 ± 1.8	-0.4 ± 3.1	
Calcaneus				
Pre	2.739 ± 0.257	2.769 ± 0.284	2.745 ± 0.287	
Post	2.714 ± 0.226	2.744 ± 0.260	2.697 ± 0.259	ns
%Change	-0.8 ± 3.6	-0.7 ± 3.9	-1.5 ± 4.3	

Total body, lumbar spine, and radial bone mineral densities in g/cm<sup>2</sup> are measured by dual energy X-ray absorptiometry, and OSI (osteo sono-assessment index) at the calcaneus is measured by quantitative ultrasound method.

Values are presented as means ± standard deviations.

D = diet; DW = diet + walking; DR = diet + resistance training

\*Significant by difference between pre and post ( $P < 0.05$ ).

Table 4. Changes in biochemical markers of bone turnover.

	D (n = 17)	DW (n = 18)	DR (n = 18)	Two-way ANOVA
BAP (U/l)				
Pre	23.9 ± 8.3	17.7 ± 5.1	20.3 ± 5.0	
Post	20.7 ± 5.3*	16.9 ± 3.6	18.6 ± 3.8*	ns
%Change	-11.3 ± 10.9	-0.9 ± 21.0	-6.5 ± 14.1	
OC (ng/ml)				
Pre	1.85 ± 0.85	1.58 ± 0.63	1.76 ± 0.66	
Post	2.74 ± 1.34*	2.38 ± 1.18*	2.86 ± 1.33*	ns
%Change	78.8 ± 127.0	59.1 ± 73.3	70.6 ± 85.9	
DPD (nmol/mmol·Cr)				
Pre	7.35 ± 2.37	6.18 ± 1.88	6.15 ± 1.80	
Post	7.97 ± 1.50	7.90 ± 1.95*	7.83 ± 1.71*	ns
%Change	19.2 ± 44.8	42.5 ± 64.8	47.2 ± 90.8	
NTX (nmolBCE/mmol·Cr)				
Pre	35.2 ± 13.7	27.8 ± 8.2	31.1 ± 12.4	
Post	39.4 ± 17.4	32.4 ± 10.7	30.6 ± 8.9	ns
%Change	13.9 ± 32.2	20.1 ± 39.1	4.7 ± 28.7	

Values are presented as means ± standard deviations.

D = diet; DW = diet + walking; DR = diet + resistance training;

BAP = bone specific alkaline phosphatase; OC = osteocalcin; DPD =

deoxypyridinoline cross-links; NTX = type I collagen cross-linked N-telopeptides

\*Significant by difference between pre and post ( $P < 0.05$ ).

た。なお、時間×介入方法の交互作用は全身骨BMCにおいて有意であったが、群間差はみとめられなかった。

骨代謝マーカーの変化については、表4に示した。骨形成マーカーであるBAPはD群およびDR群で有意に減少したが、OCは3群ともに増加した。骨吸収マーカーであるDPDはDW群およびDR群で有意に増加したが、NTXは3群ともに有意な変化を示さなかった。いずれの項目も、3群間で有意な差はみとめられなかった。

## 考 察

本研究では、日本人女性についてはほとんど報告されていない減量に伴う骨量の変化を検討し、国外においてもいまだ結論の得られていない、減量に伴う骨量の減少を抑制するプログラムを開発するために必要な情報を収集した。本研究の目的は、牛乳とプロテインにより、カルシウムとたんぱく質を十分に摂取した上で、レジスタンストレーニングを実践すれば、除脂肪量を維持しながら体重を減少させることができ、減量に伴う骨量の減少を抑制できるという仮説を検証することであった。

本研究の結果から、明確な群間差はみとめられなかったものの、食事制限にウォーキングまたはレジスタンス運動を併用することによって、体重や体脂肪率を効率よく減少させることが可能であることが示唆された(表2)。しかし、牛乳とプロテインを付加したレジスタンストレーニングが筋量の減少を抑制するという仮説は棄却された。Garrow and Summerbell<sup>22)</sup>は1966年から1993年に発表された論文をまとめ、食事制限、運動実践、食事制限+運動実践が身体組成に与える影響についてのメタアナリシスを報告している。それによると、食事制限のみによる10kgの減量によって除脂肪量は2.2kg減少し、運動を併用することによって除脂肪量の減少は1.7kgに抑えられる。本研究結果から、10kgの減量に対する筋量の減少量を計算すると、D群では2.7kg、DW群では1.8kg、DR群では2.1kgであった。このことから、運動を併用することによって筋量の減少はある程度抑制されたが、レジスタンストレーニングによる顕著な効果はみとめられず、他の報告と比べても大きな差のないことが示唆された。レジスタンストレーニングによって筋量の減少が抑制できなかった原因としては、減量に伴う身体にかかる負荷の減少とトレーニング期間の影響が考えられる。身体に蓄積された過剰な脂肪は、筋を発達させるための負荷となる。その負荷量は減量に伴い減少するため、筋にかかる負荷は減少し、レジスタンストレーニングの効果が相殺された可能性がある。また、本研究において設定した3ヵ月間というトレーニング期間が、筋を発達させるためには不十分であったとも考えられる。肥満者のほとんどはレジスタンストレーニング初心者であったため、けがを予防するためにも、最初の1ヵ月間は自重負荷または非常に軽い負荷を用い、トレーニングに慣れさせることが必要であった。2ヵ月目以降は、最大筋力の測定結果に基づき筋肥大に必要な負荷を設定したが、十分な効果は得られなかった。減量に伴う除脂肪量(筋量)の減少を抑制するためには、トレーニング期間を延長することも必要であろう。

骨量の変化については、全身骨BMCがDW群でのみ有意に減少し、D群、DR群では維持された。一方、全身骨BMDはDW群、DR群で維持され、D群でのみ有意に減少した。このようなBMCとBMDの変化が異なる原因は、BMDを算出する際の分母にあたる骨投影面積が一定でないことにある。すなわち、D群においては、BMCは変化していないが骨投影面積が増加したために、単位面積あたりのBMCで表されるBMDが減少してしまったのであり、DW群においては、BMCの減少とともに骨投影面積が減少したため、BMDは変化しなかった。このことはDEXAの問題点として、多くの研究者によって議論されている<sup>23-26)</sup>が、本研究で認められた変化をアーチファクトとして扱うか、信頼できる値として扱うかは明確ではない。いずれにしても、本研究で認められた全身骨BMCの変化率は+0.9~-1.6%、全身骨BMDの変化率は-0.1~-0.5%であり、過去に筆者らが報告した研究<sup>4, 5)</sup>（全身骨BMCの変化率は-0.8~-4.5%、全身骨BMDの変化率は-0.9~-2.1%）と比較すると小さかったといえよう（図1）。過去の研究<sup>4, 5)</sup>では牛乳やプロテインを付加していないため、本研究において骨量の顕著な減少が認められなかったことは、十分なカルシウムおよびたんぱく質を摂取したことによる効果とも考えられる。また、DR群におけるBMC、BMD、OSIの変化はいずれも有意でなかったことから、群間差は認められなかったものの、レジスタンストレーニングによって骨量の減少を抑制できる可能性も期待される。しかし、骨量の変化は年齢や肥満度による影響も受けることが示唆されている<sup>5)</sup>ため、身体的特徴の異なる先行研究と本研究を単純に比較することは適当ではない。今後は、牛乳とプロテインの付加を受ける群と受けない群を設定し、減量に伴う骨量の変化に差が生じるかを検討することが必要であろう。

本研究では減量期間を3ヵ月間に設定したことから、減量後の測定時は、3週間前後の骨吸収期に続く3~4ヵ月間の骨形成期の途中に該当すると考えられた。そこで、測定時点での骨代謝状況を検討するために、骨形成マーカーとしてBAPとOC、骨吸収マーカーとしてDPDとNTXを測定した。日本骨粗鬆症学会により定められた骨代謝マーカーの基準値<sup>27)</sup>は、BAP7.9~29.0U/l（本研究における分析を依頼した検査機関の基準値は9.6~35.4U/l）、DPD2.8~7.6mol/mmol・Cr（検査機関の基準値も同一）、NTX 9.3~54.3 nmolBCE/mmol・Cr（検査機関の基準値は8.3~69.9nmolBCE/mmol・Cr）である。OCについては日本骨粗鬆症学会による基準値は発表されていないが、検査機関の基準値は3.1~12.7 ng/mlである。減量前の平均値と基準値を比較すると、BAP、DPD、NTXは基準範囲内、OCは基準範囲外の低値であった。減量に伴いBAPは有意に減少したが基準範囲内での変化であり、その変化率も日本骨粗鬆症学会<sup>27)</sup>が薬効判定に用いている最小有意変化（minimum significant change: MSC; 閉経後女性における早朝日差変動の2倍）17.0%を下回っていた。一方、OCは初期値が低かったとはいえ、いずれの群においても有意に増加していた。ただし、減量後に増加した測定値も基準範囲外の低値であった。骨吸収マーカーでは、DPDが減量に伴い基準上限値を超える7.83~7.97 nmol/mmol・Crまで増加していた。その変化率も有意な変化を示したDW群とDR群においてはMSC（22.5%）を上回っていた。一方、NTXの変化は有意ではなく、平均値は増加しているものの、MSC（24.7%）を下回っていた。骨吸収マーカーであるNTXの変化はDPDよりやや早期に現れ、骨形成マーカーであるBAPの変



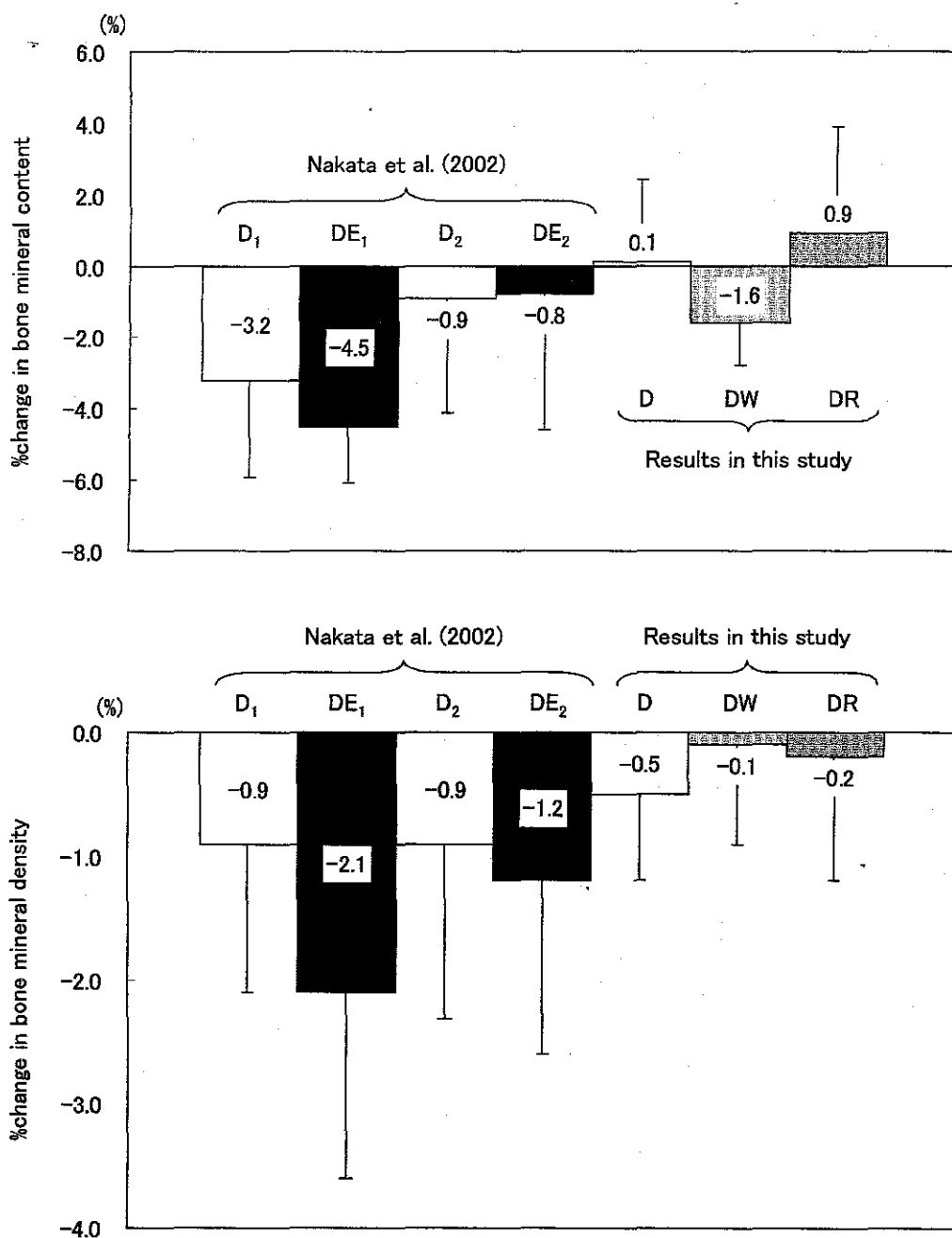


Fig.1 Comparison of the results between this study and a previous one of bone mineral content and density. D=diet; DE=diet and exercise; DW=diet and walking; DR=diet and resistance training.

化はやや遅れる<sup>27)</sup>ため、減量後の測定時は骨吸収期が終わり、骨形成期に入って間もない時期と推察される。したがって、減量に伴う骨量の低下は骨吸収マーカーの亢進からも裏付けられ、3ヵ月という期間では骨形成が十分に進んでいないことが示唆された。

## まとめ

本研究では、カルシウムとたんぱく質を十分に摂取させた上で、レジスタンストレーニングを実践させることで、筋量を維持しながら体重を減らし、骨量の減少も抑制できるという仮説を検証した。その

結果、レジスタンストレーニングを実践させたDR群において減量に伴い筋量は減少したが、骨量の減少は抑制された。しかし、運動を実践しなかったD群やウォーキングのみを実践したDW群においても顕著な骨量減少は生じなかった。先行研究との比較から、牛乳・プロテインを付加することによって骨量の減少が抑制されると推察されたが、この点については、今後のより詳細な検討が必要である。

## 謝 辞

減量教室の実施およびデータ収集に対しては東取手病院のスタッフから多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

## 文 献

- 1) 宮村季浩, 山縣然太郎, 飯島純夫, 浅香昭雄. 骨粗鬆症危険因子の骨塩量に与える影響についての検討. 日公衛誌, 41, 1122-1130, 1994.
- 2) 梶田悦子, 伊木雅之, 飛田芳江, 三田村純枝, 日下幸則, 緒方昭, 寺本路夫, 土田千賀, 山本和高, 石井靖. 中高年女性の腰椎骨密度とそれに影響する要因 (第3報) 有経者と閉経者別にみた体力指標及びLife style要因と骨密度の関係. 日衛誌, 50, 893-900, 1995.
- 3) 鈴木隆雄, 楠本彩乃, 永井晴美, 吉田英世, 渡辺修一郎, 熊谷修, 天野秀紀, 柴田博. 閉経期の女性の骨密度測定法の差異による骨量評価についての研究: DXA法と超音波法の比較. 日公衛誌, 43, 16-27, 1996.
- 4) 藤本誉博, 奥野淳, 中田由夫, 田中喜代次, 重松良祐, 李東俊, 藪下典子, 天貝均, 大蔵倫博. 運動と食事制限による減量が閉経後肥満女性の骨密度に及ぼす影響. 肥満研究, 6, 279-283, 2000.
- 5) 中田由夫, 田中喜代次, 重松良祐, 天貝均, 鈴木隆雄. 減量に伴う体重・体組成の変化が中年肥満女性の骨量に及ぼす影響. 体力科学, 51, 129-138, 2002.
- 6) 中田由夫, 田中喜代次, 金憲経, 天貝均, 重松良祐, 中塘二三生. 減量に伴う四肢・体幹別にみた身体組成の変化: 中年肥満女性の骨量に着目して. 体育学研究, 48, 27-35, 2003.
- 7) Nishizawa Y, Koyama H, Shoji T, Tahara H, Hagiwara S, Aratani H, Nakatsuka K, Miki T, Morii H. Altered calcium homeostasis accompanying changes of regional bone mineral during a very-low-calorie diet. Am J Clin Nutr, 56, 265S-267S, 1992.
- 8) Compston JE, Laskey MA, Croucher PI, Coxon A, Kreitzman S. Effect of diet-induced weight loss on total body bone mass. Clin Sci, 82, 429-432, 1992.
- 9) Jensen LB, Quaade F, Sorensen OH. Bone loss accompanying voluntary weight loss in obese humans. J Bone Miner Res, 9, 459-463, 1994.
- 10) Andersen RE, Wadden TA, Herzog RJ. Changes in bone mineral content in obese dieting women. Metabolism, 46, 857-861, 1997.

- 11) Thompson JL, Gylfadottir UK, Moynihan S, Jensen CD, Butterfield GE. Effects of diet and exercise on energy expenditure in postmenopausal women. *Am J Clin Nutr*, 66, 867-873, 1997.
- 12) Jensen LB, Kollerup G, Quaade F, Sorensen OH. Bone mineral changes in obese women during a moderate weight loss with and without calcium supplementation. *J Bone Miner Res*, 16, 141-147, 2001.
- 13) Frost HM. Suggested fundamental concepts in skeletal physiology. *Calcif Tissue Int*, 52, 1-4, 1993.
- 14) Chilibeck PD, Sale DG, Webber CE. Exercise and bone mineral density. *Sports Med*, 19, 103-122, 1995.
- 15) Valdimarsson O, Kristinsson JO, Stefansson SO, Valdimarsson S, Sigurdsson G. Lean mass and physical activity as predictors of bone mineral density in 16-20-year old women. *J Intern Med*, 245, 489-496, 1999.
- 16) 松澤佑次, 井上修二, 池田義雄, 坂田利家, 齋藤康, 佐藤祐造, 白井厚治, 大野誠, 宮崎滋, 徳永勝人, 深川光司, 山之内国男, 中村正. 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. *肥満研究*, 6, 18-28, 2000.
- 17) Heymsfield SB, Smith R, Aulet M, Bensen B, Lichtman S, Wang J, Pierson RN Jr. Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am J Clin Nutr*, 52, 214-218, 1990.
- 18) Wang ZM, Visser M, Ma R, Baumgartner RN, Kotler D, Gallagher D, Heymsfield SB. Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J Appl Physiol*, 80, 824-831, 1996.
- 19) 田中喜代次, 田中英和, 大蔵倫博, 重松良祐, 中西とも子, 下帯正直, 渡邊寛, 檜山輝男. 有酸素性運動およびエネルギー摂取制限が腹部脂肪面積に与える影響. *肥満研究*, 5, 40-45, 1999.
- 20) 矢野尚子, 高戸毅, 松波紀行, 益子研土, 高梨真教, 関口順輔, 長田秀幸. 成人男性におけるマイクロダイエットを用いたLCD療法による減量効果について. *Ther Res*, 17, 1441-1447, 1996.
- 21) 健康・栄養情報研究会. 第六次改定 日本人の栄養所要量 食事摂取基準, 第一出版, 東京, pp. 9-17, 1999.
- 22) Garrow JS, Summerbell CD. Meta-analysis: effect of exercise, with or without dieting, on the body composition of overweight subjects. *Eur J Clin Nutr*, 49, 1-10, 1995.
- 23) Van Loan MD, Johnson HL, Barbieri TF. Effect of weight loss on bone mineral content and bone mineral density in obese women. *Am J Clin Nutr*, 67, 734-738, 1998.
- 24) Reid IR, Plank LD, Evans MC. Fat mass is an important determinant of whole body bone density in premenopausal women but not in men. *J Clin Endocrinol Metab*, 75, 779-782, 1992.
- 25) Simkin A, Ayalon J, Leichter I. Increased trabecular bone density due to bone-loading exercises in postmenopausal osteoporotic women. *Calcif Tissue Int*, 40, 59-63, 1987.
- 26) Compston JE. Bone density: BMC, BMD, or corrected BMD? *Bone*, 16, 5-7, 1995.
- 27) 日本骨粗鬆症学会. 骨粗鬆症診療における骨代謝マーカーの適性使用ガイドライン (2001年度版). *Osteoporosis Jpn*, 9, 255-264, 2001.