

トレーニングが中・高齢者の骨折危険因子を抑制できるか

筑波大学 福田 理香
(共同研究者) 成仁医院 坂戸 英樹
筑波大学 久野 譜也
同 西嶋 尚彦
同 岡田 守彦

Effect of Exercise Training on Bone and Physical Fitness in Elderly Women

by

Rika Fukuda, Naohiko Nisizima
*Institute of Health and Sport Sciences,
University of Tsukuba*
Hideki Sakato
Seijin Hospital
Shinya Kuno, Morihiko Okada
*Center for Tsukuba Advanced Research
Alliance, University of Tsukuba*

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effects of a 7-month exercise program on the multiple risk factors in relation to fractures in elderly women. Twenty postmenopausal and two premenopausal women, 50 to 76 years of age, participated. The exercise program consisted of general aerobics as well as weight training with an intensity of 15 repetitions maximum (15RM) 2 days per week. Subjects were tested before and after the 7-month training program. Variables tested were speed of sound (SOS in m/second), bone and muscle cross-sectional area

of leg, serum concentrations of osteocalcin (OC) and carboxyterminal crosslinked telopeptide of type I collagen (ICTP), and a physical fitness test. There was no change in tibial SOS. OC and ICTP levels increased significantly ($p < 0.01$). In the physical fitness test, the number of sit-ups performed in a 30-second period and the endurance time of one-leg open-eye stand were positively affected by the exercise program ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). These results suggest that the weight and aerobic training positively influenced the maintaining the bone SOS due to high bone turnover, as well as improving physical fitness in elderly women.

要 旨

本研究の目的は、50歳以上の女性を対象として、7ヶ月間のトレーニングの効果を骨折の危険因子である骨の脆弱度および身体機能に対して検討することを目的とした。

20人の閉経後女性および2人の閉経前女性がこの研究に参加した(50~76歳)。トレーニングは、週2回の持久的運動と15 RM強度のレジスタンス運動とを組み合わせた内容であった。被検者は、7ヶ月のトレーニングの前後に、健康体力測定を行った。測定項目は、脛骨の伝播速度(SOS)、脛骨、前脛骨筋および下腿三頭筋の横断面積、血中の骨代謝マーカーとしてオステオカルシン(OC)とI型コラーゲン・C末端テロペプチド(ICTP)そして文部省の新体力テストであった。

7ヶ月のトレーニング後、脛骨SOSは変化が認められなかった。また、OC($p < 0.01$)とICTP($p < 0.05$)は両方とも有意に増加した。体力測定項目のうち、上体起こしおよび開眼片足立ちは有意に改善した。これらの結果は、本研究で実施した持久的運動と中強度のレジスタンス運動とを組み合わせた週2回、7ヶ月間のトレーニングが、高齢者の骨代謝回転を亢進し骨強度を維持させるとともに、身体能力、特に体幹の筋力およびバランス能力を向上させることを示しているものと考えられる。

緒 言

高齢化社会を迎えた今日、高齢になっても自立して自由な生活を営めることは大変重要なことである。高齢者の骨折、なかでも脊椎、大腿頸部の骨折は寝たきりにつながることもあり¹⁾、自立を阻む原因の一つとして社会的問題となっている^{2,3)}。この骨折率の増加には、多くの要因が介在していると考えられている。Cummings⁴⁾は、大腿骨頸部骨折の主な誘発因子をあげ、それらを骨折危険因子として3つのカテゴリーに分けている；①筋力・バランス能力・柔軟性・瞬発力などの身体能力の低下および不良姿勢あるいは環境的要因に伴う易転倒性、②転倒時の位置エネルギーの大きさ、筋力や反応時間などの防御反応能力そして衝撃を和らげる役目をになう脂肪や筋肉量、などによって決定される股関節にかかる衝撃力、③骨の密度・形態・質および超微細ダメージの有無を含めた骨強度。これらの危険因子を減少させる方法として、運動がより重要であるとして注目されている。しかし、これまでの高齢者に対する運動の効果について検討した多くの研究は、骨密度の値の増減に焦点を当てたものである。65歳以上の1年間の転倒発生率は20%に上り⁵⁾、転倒の際のけがの30~40%が骨折であるという報告がある^{2,6)}。このことから、高齢者に対する運動の効果について、骨・筋機能および身体能力の観点から総合的に評

価する必要がある。

また、骨機能低下抑制には局所的なメカニカルストレスが高いレジスタンス運動が効果的であるとされている⁷⁻¹²⁾。しかし、その負荷は非常に高く、この運動を日常的に習慣化することは困難であると考えられる。

そこで、本研究では50歳以上の女性を対象として、1週間に2回、持久的運動とレジスタンス運動を組み合わせた運動プログラムを提供し、骨代謝および身体能力に対する影響を総合に評価することを目的とした。

1. 方法

1) 被検者

被検者は、茨城県大洋村の(財)とっぷさんて大洋が主催する高齢者を対象とした健康教室「生き生きタイム」に参加を希望した女性33名であった。被検者は、「生き生きタイム」および半年毎の体力測定、骨・筋機能測定を含む「健康度チェック」の内容、意義について十分に理解し、参加することに同意した。

本研究では、トレーニング開始後、7ヶ月間のトレーニングを継続でき、トレーニング前および7ヶ月目の健康・体力測定に参加することのできた50~76才の22名(年齢:62.0±6.3歳, 身長:150.9±5.8cm, 体重:55.0±9.1kg)(表1)について検討を加えた。なお、22名のうち50歳代の2人を除く20名が閉経を迎えており、閉経後年数は13.3±9.1年であった。

2) 健康度チェック

トレーニング開始前および7ヶ月後の2回、以下の項目についておこなった。なお、事前のメディカルチェックの結果、動脈硬化疾患(高血圧、高脂血症、糖尿病など)を持つと診断された4名は、体力測定のうち抵抗性の種目は行わなかった。

表1 身体的特性

		トレーニング前	トレーニング後
年齢(歳)	全体	62.0 ± 6.3	
	R+E	61.7 ± 6.8	
	E	63.3 ± 2.6	
身長(cm)	全体	150.9 ± 5.8	151.0 ± 6.1
	R+E	151.6 ± 5.8	151.7 ± 6.0
	E	148.0 ± 6.2	147.8 ± 6.3
体重(kg)	全体	55.0 ± 9.1	54.2 ± 8.6**
	R+E	54.3 ± 7.4	53.7 ± 7.1*
	E	58.0 ± 16.2	56.2 ± 15.2
BMI(kg/m ²)	全体	24.1 ± 3.7	23.8 ± 3.5*
	R+E	23.7 ± 3.3	23.4 ± 3.1*
	E	26.2 ± 5.4	25.5 ± 5.2

1. 数値は、平均±標準偏差で示した。
2. R+E:レジスタンス運動と持久的運動を行ったグループ
E:持久的運動のみを行ったグループ
3. R+E:n=18, E:n=4
4. *:p<0.05, **:p<0.01 vs トレーニング前

A. 脛骨皮質骨SOS

脛骨超音波骨密度測定は、オムロン骨密度測定装置SoundScan 2000 Compact(Myriad Ultrasound Systems社)を用いた。膝蓋骨下端高から脛骨内果下端高を引いた値を脛骨の長さとして、その2分の1部位にマークをつけ、測定ポイントとした。プローブを皮質骨内側に当て超音波の伝播速度であるSOS(Speed of sound, m/sec)を測定した。なお、一般にSOSはyoung率と物質の密度によって規定され、弾性と物質密度の両者が反映された指標として考えられており¹³⁾、本研究ではSOSを骨の脆弱度を表す指標として定義した。

B. MRIによる脛骨、前脛骨筋および下腿三頭筋横断面積

MRIの測定は、筑波大学附属病院に設置されている臨床用MRI装置(Sigma, GE, USA)を用いた。撮影位置は、骨SOS測定の際にあらかじめつけておいたマークをもとに、ほぼ同位置の横断画像を得られるように設定した。被検者はMRI装置内において仰臥位で固定された。

C. 骨代謝マーカー

骨形成マーカーとしてオステオカルシン(OC)および骨吸収マーカーとしてI型コラーゲン・C

末端テロペプチド (ICTP) の血中濃度を測定した。採血は2回の測定とも全ての測定に先立ち8:30~9:30の間に行い、その後速やかに血清分離した。

D. 体力測定

文部省新体力テストの実施要項にしたがって行った。測定項目は、全被検者間の比較を可能にするために、65歳から79歳までのテスト項目である、握力、上体起こし、長座体前屈、開眼片足立ち、10 m障害物歩行、6分間歩行テストの6項目とした。

3) トレーニング

トレーニングは週2回とし、1日はユニバーサルマシン、ダンベル等を用いたレジスタンス運動7種目(表3)、他の1日は持久的運動として自転車エルゴメータを用いたペダリング運動およびウォーキングであった。なお、動脈硬化疾患と診断された4名の被験者は、週2日とも持久的運動をおこなった。トレーニングに先立ち、被検者1人で安全にトレーニングをできるようになるまで、器具の使用法および運動姿勢等の留意点について指導員が直接指導した。その後は、週2回、指導員の監視下のもと、トレーニングを行った。ユニバーサルマシン、ダンベルを用いる種目については、連続して15回行える負荷(15 RM)で、10~15回、1~2セットを、その他の種目は、楽にできる回数で行った。なお、負荷および回数は1ヶ月毎に検討された。また、ペダリング運動の条件は推定最大心拍数(220-年齢)の50~60%で30分間、ウォーキングは修正自覚的運動強度(RPE)スケールの「3(ちょうどいい)~4(ややきつい)」の強度で30分~1時間とし、被検者はいずれかを選択して行った。被検者はトレーニングする前に、体重、体脂肪、血圧を測定しその日の体調が良好であることを確認してトレーニングを行った。また、トレーニング内容(種目毎の負荷重量、回数、セット数等)

は毎回、トレーニング日誌に記載した。

4) 消費カロリー、歩数の測定

総消費カロリー、運動による消費カロリーおよび歩数は、消費カロリー測定機 Select 2 Clorie Counter (スズケン) を用いて測定した。被検者は就寝時以外、腰に装着し、得られた日々のデータを記録ノートに記入した。

5) 統計処理

結果はすべて、平均値と標準偏差で示した。7ヶ月間のトレーニングの効果を検討するために、トレーニング前およびトレーニング後の平均値について、対応のあるt-testを用い有意差検定を行った。また、レジスタンス運動における各種目の負荷の変化については、トレーニング前、3ヶ月後および7ヶ月後の平均値について、一元配置の分散分析を行い、有意差が認められた項目については、さらにFisher's PLSD法を用い多重比較を行った。なお、統計処理の有意水準は、危険率5%未満とした。

2. 結果

レジスタンス運動の実施が可能な18名をR+E群、有酸素運動のみの4名をE群として結果を示したが、被験者数が大きく異なるため両群間の比較は行わなかった。

1) 身体的特性

表1に身体的特性を示した。トレーニング前後で、体重およびBMIが有意に低下した。

2) 牛乳、納豆、海藻および小魚の摂取状況

骨粗鬆症予防のために習慣的な摂取が好ましい牛乳、納豆、海藻および小魚の摂取状況を表2に示した。牛乳は、17名が必ず1週間に1度以上摂取しており、その摂取量は1週間平均 1212 ± 338 mlであった。納豆は、95.5%の人が習慣的に摂取しており、摂取量は1週間平均 116 ± 76 gであった。海藻・小魚については全員がほぼ1日置きに摂取していたが、その量に

表2 牛乳, 納豆, 海藻および小魚の摂取状況

牛乳			
習慣的摂取者	人数	17	
摂取量	ml/週	1212 ± 338 (200 - 1400)	
納豆			
習慣的摂取者	人数	21	
摂取量	g/週	116 ± 76 (24 - 280)	
海藻			
習慣的摂取者	人数	22	
摂取量	日/週	3.9 ± 2.0 (1-7)	
小魚			
習慣的摂取者	人数	22	
摂取量	日/週	3.4 ± 2.2 (1-7)	

1. 摂取量および摂取頻度の数字は平均±標準偏差で示した。
2. () 内の数字は最小値と最大値を示した。

については算出することができなかった。また、喫煙および飲酒の習慣のあるものは、過去・現在を問わず1人もいなかった。

3) レジスタンス運動の負荷

表3にレジスタンス運動の種目毎の設定負荷の変化を運動種目毎に示した。マシンおよびダンベルを使う種目は、15 RMの重量を、その他の種目については楽に無理なくできる回数を書した。インナーサイ、ローイング、スクワットの3種目は、トレーニング開始1ヶ月目と比較して3および7ヶ月目の値が有意に上昇を示し、チェストプレスは7ヶ月目に有意に増加した。その他の種目は、トレーニング期間を通じてほとんど変化がなかった。

表3 レジスタンス運動における各種目の負荷 (重量および回数)

種目	トレーニング前	3ヶ月後	7ヶ月後
レジスタンス運動			
インナーサイ (kg)	12.5 ± 4.1	17.9 ± 4.7 **	21.9 ± 6.0 ***
チェストプレス (kg)	12.9 ± 1.4	15.7 ± 4.6	17.8 ± 6.2 ***
ローイング (kg)	13.9 ± 2.9	18.9 ± 3.9 **	21.5 ± 6.6 ***
スクワット (kg)	3.0 ± 0.7	3.9 ± 1.0 **	4.7 ± 1.3 ***
トランクカール (回)	22.2 ± 8.1	21.1 ± 5.6	22.3 ± 9.1
バック・イクステンション (回)	16.6 ± 5.8	15.6 ± 2.1	15.2 ± 2.0
アブドミナル・シットアップ (回)	14.6 ± 3.4	17.0 ± 7.1	16.3 ± 3.3

1. インナーサイ、チェストプレス、ローイング、スクワットは15 RMの重量を、トランクカール、バック・イクステンション、アブドミナル、シットアップは無理なくできる回数である。
2. 数値は平均±標準偏差で示した。
3. **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ vs トレーニング前
4. $n=18$

4) 1日の消費カロリー

表4に、1日の総消費カロリー、運動による消費カロリー、総消費カロリーに対する運動消費カロリーの割合および歩数を示した。いずれにおいてもトレーニング1ヶ月目と7ヶ月目とで変化は認められなかった。1日の平均歩数は1万歩前後と非常に高い値を示した。

5) 骨代謝に対する影響

図1に、脛骨SOS、血中OCおよびICTP濃度の変化について示した。脛骨SOSはトレーニング前とトレーニング7ヶ月後で変化しなかった。

表4 1日の活動量

	1ヶ月目	7ヶ月目
(A) 総消費カロリー (kcal/日)		
全体	1643 ± 169	1705 ± 186
R+E	1668 ± 161	1697 ± 165
E	1540 ± 183	1734 ± 284
(B) 運動による (kcal/day)		
全体	246 ± 125	247 ± 108
R+E	261 ± 134	256 ± 117
E	183 ± 50	211 ± 64
B/A (%)		
全体	14.6 ± 6.3	14.2 ± 5.3
R+E	15.3 ± 6.7	14.7 ± 5.8
E	12.0 ± 3.5	12.0 ± 2.4
歩数 (/day)		
全体	9203 ± 3714	9496 ± 3675
R+E	9742 ± 3893	9871 ± 3931
E	7048 ± 1960	7996 ± 2128

1. 数値は、平均±標準偏差で示した。
2. R+E: レジスタンス運動と持久的運動を行ったグループ
E: 持久的運動のみを行ったグループ
3. R+E: $n=12$, E: $n=4$

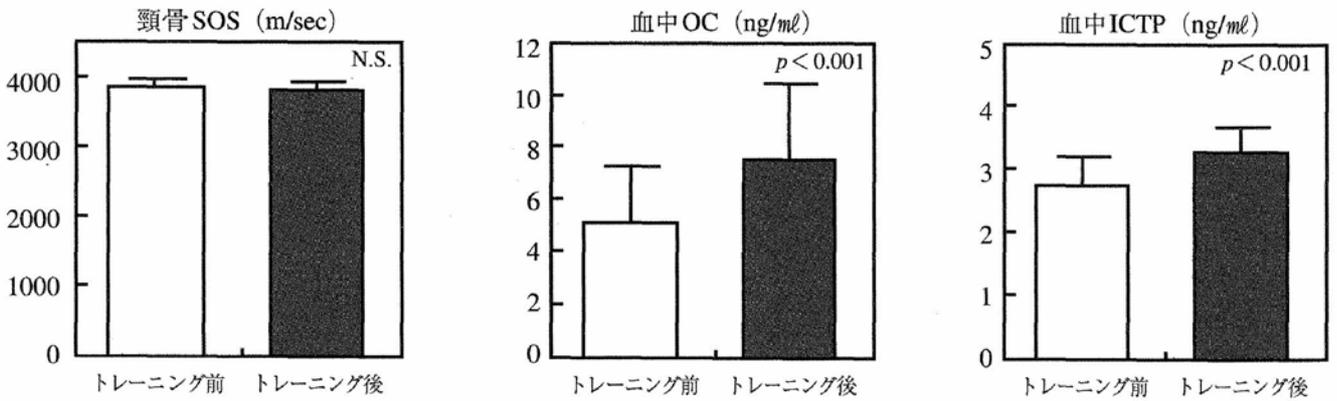


図1 骨代謝に対する効果

表5 頸骨, 下腿三頭筋および前頸骨筋の横断面積

	トレーニング前	7ヶ月後
頸骨横断面積 (cm ²)		
全体	2.52 ± 0.47	2.55 ± 0.49
R+E	2.49 ± 0.48	2.53 ± 0.49
E	2.63 ± 0.46	2.65 ± 0.54
筋横断面積		
下腿三頭筋 (cm ²)		
全体	21.0 ± 5.3	22.0 ± 5.4
R+E	21.8 ± 5.3	22.3 ± 5.7
E	17.7 ± 4.3	20.7 ± 3.7
前頸骨筋 (cm ²)		
全体	4.0 ± 1.1	4.2 ± 1.4
R+E	4.2 ± 1.0	4.3 ± 1.5
E	3.3 ± 1.3	3.9 ± 0.9

1. 数値は、平均±標準偏差で示した。
2. R+E：レジスタンス運動と持久的運動を行ったグループ
E：持久的運動のみを行ったグループ
3. R+E：n=18, E：n=4

これに対して、OCおよびICTPともに、有意に上昇した ($p < 0.01$)。

6) 脛骨, 下腿三頭筋および前脛骨筋の横断面積に対する影響

表5に脛骨, 下腿三頭筋および前脛骨筋の横断面積の結果を示した。いずれもトレーニング前とトレーニング7ヶ月後で変化しなかった。

7) 身体能力に対する影響

図2に、身体能力の結果を示した。上体起こし(改善率33.0%)および開眼片足立ち(改善率15.8%)は有意に増加し、ポジティブな結果が得られた。これに対して、長座位体前屈は有意に減少した。その他の3種目についてはトレーニング前とトレーニング7ヶ月後で変化は認められなかった。

3. 考察

本研究の目的は、50歳以上の高齢者を対象として、週1~2回の持久的運動とレジスタンス運動とを組み合わせたトレーニングの、骨折危険因子、すなわち骨の脆弱度、筋力および身体能力におよぼす影響を総合的に評価することであった。

骨粗鬆症に代表される骨の脆弱化、筋萎縮による筋力の低下および身体能力の低下など、加

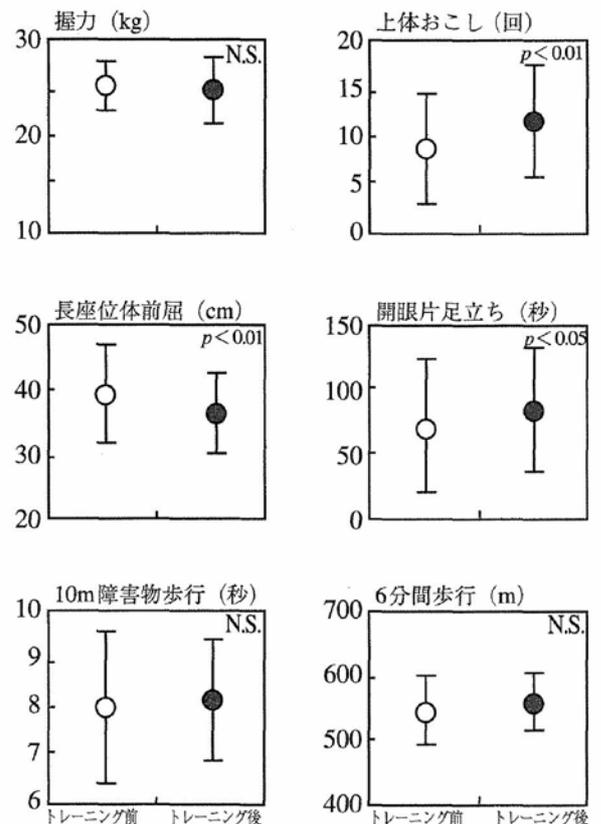


図2 身体能力に対する効果

齢に伴って転倒に起因する骨折の危険因子が増加することは知られている。そして、これらの危険因子を改善するための一つの方法として運動の重要性が指摘されている。これまでの研究は、運動が加齢による骨密度減少を抑制するのか、あるいは高齢になっても運動によって骨密度は増加するのかについて検討しているものが多い。筋力トレーニング⁷⁻¹²⁾のような局所的な衝撃負荷のかかる運動が、ウォーキング¹⁴⁻¹⁶⁾、ジョギング^{17,18)}あるいは水中運動¹⁹⁾よりも、骨密度の減少予防に効果的であることが示されている。しかし、上述したように高齢者の骨折は骨密度の高低だけで説明できるものではなく、多くの危険因子が複雑に絡み合っているものである。したがって、運動の効果について骨密度だけでなく身体能力の面からも検討する必要がある。

脛骨SOSはトレーニング前後で変化がみられなかったが、骨形成の指標であるOC、および骨吸収の指標であるICTPのいずれもトレーニング前と比較して7ヶ月後に有意に増加した(図1)。骨SOSは、加齢に伴い、とくに女性の場合50歳以降顕著に低下すること、そしてDEXA法(X線二重光子吸収法)による骨密度と良好な相関関係が認められている¹³⁾。したがって、これらの結果は、7ヶ月のトレーニングによって骨代謝回転が高まり、加齢に伴う骨密度減少が抑制された可能性を示すものと考えられる。80%1RM負荷のウェイトトレーニングを処方した研究¹⁰⁾および乳酸性作業域値以上速度でのウォーキングを処方した研究¹⁵⁾においても骨代謝回転の亢進を伴った骨密度減少の抑制あるいは増加が報告されており、持久的運動とレジスタンス運動を組み合わせた場合でも同様の結果が得られた。

身体能力に対する効果については、文部省の新体力テストで評価した。7ヶ月後、上体起こしおよび開眼片足立ちが有意に改善した(図2)。上体起こしは、主に腹筋および大腿四頭筋の筋

力および筋持久力を評価していると考えられる。したがって、この能力が上昇したことは、バランスを崩したときに体勢を立て直す能力を獲得できたことをも意味するであろう。トレーニング種目の中に、類似した種目が組み込まれていることから、トレーニング前の測定では1回もできなかった被検者ができるようになり、有意な向上がみられたと考えられる。開眼片足立ちは、バランス能力の指標であり、この持続時間が長い者は、短い者と比較して転倒骨折率が低いという報告がある²⁰⁾。本研究では、転倒との関係については検討することができなかったが、転倒のリスクファクターにポジティブな影響を与えたものと期待できよう。一方で、腰部の柔軟性の指標である長座体前屈の値は有意に減少した。この原因については明らかにすることはできないが、トレーニング後のストレッチ等クーリングダウンが充分でなかった可能性がある。

中・高齢者のトレーニングの効果を、転倒による骨折のリスクファクターである骨強度および身体能力の両面から検討した研究は少ない^{10,19,21,22)}。Nelson et al.¹⁰⁾は、50~70歳の閉経後女性に、週2回約1年間ウェイトトレーニングを行わせ、骨密度、筋力のみならず動的バランス能力が向上したことを報告し、筋力トレーニングは骨粗鬆症起因の骨折の危険因子にポジティブな効果を与える運動であるとしている。しかし、その負荷は最大で1回持ち上げることのできる重量(1RM)の80%の負荷と非常に高く中・高齢者の日常的な運動として適切な負荷であるのか疑問である。週2回の持久的運動と15RM(約65%1RM)という中強度の筋力トレーニングで一定の効果が得られた本研究の持つ意味は大きいであろう。また、4人と少なかったものの、疾患者を対象とした研究以外では、スクリーニングされる動脈性疾患を有する人が健康な人と一緒にトレーニングを継続し、ほぼ同様の効果を得られたことは意味

深い。しかし、トレーニング開始後33人中6人がリタイアしたことは、トレーニング後に柔軟性が低下したことなどは、本研究で実施した運動プログラムの問題点であると考えられる。今後トレーニング内容を再考するとともに、運動プログラムへの参加者を増やし、中・高齢者の健康維持、あるいは自立した生活を営む上で必要な運動の最低量を探り、運動の日常化を働きかけていく必要がある。また、加齢に伴う骨量減少、筋萎縮に対して、運動のみならずカルシウム^{2,3)}やタンパク質^{2,3)}補充は抑制効果を持つことから、本研究ではカルシウムが多く含まれる代表的な食品の摂取状況を調査し、運動の効果とこれらの関係について検討を試みた。しかし、被検者間で摂取状況に大きな差は認められず、この点については何ら明らかにすることはできなかった。とくに高齢者では身体活動量および食事が顕著に減少することから、運動と栄養の相互作用について明らかにすることも今後の課題であろう。

4. まとめ

本研究は、中・高齢者女性22名を対象として、週2回のレジスタンス運動と持久的運動を組み合わせた7ヶ月のトレーニングの効果を、転倒による骨折のリスクファクターである骨の脆弱度および身体能力から検討することであった。得られた結果は以下の通りである。

1) 脛骨SOSに変化はなかった。

2) 血中OCおよびICTP濃度は、いずれも有意に増加した。

3) 上体起こしの回数および開眼片足立ちの持続時間は有意に向上した。一方、長座体前屈の値は有意に低下した。

これらのことは、本研究で実施した持久的運動と中強度のレジスタンス運動を組み合わせた週2回トレーニングは、骨代謝回転を亢進させ骨の弾性と密度を表すと考えられている骨SOSの維持

に効果的であること、また同時に、筋力および神経系の改善をもたらし、転倒の危険因子の一つであるバランス能力を向上させることを示すものである。

謝 辞

本研究を行うにあたって、多大なご協力をいただいた茨城県大洋村役場、(財)とっぷ・さんて大洋の皆様および筑波大学大学院生の金俊東氏に感謝いたします。

文 献

- 1) Hayashi Y; Bone fracture and bed-ridden elderly. *Aging Dis.*, 7, 45-51 (1994)
- 2) Grisso JA, Capezuti E, Schwartz A; Falls as risk factors for fractures. In Marcus R, Fledman D, Kelsey J (Eds.), *Osteoporosis*, 20 (pp.599-611). San Diego. Academic Press (1996)
- 3) Hashimoto T, Yoshimura N, Danjyo S; Fall and fracture in the elderly in Japan. *Care*, 12, 26-32 (1991)
- 4) Cummings SR ; Epidemiology of osteoporotic fractures. In HK genant (Ed.), *Osteoporosis update*. San Francisco : Radiology Research and Education Foundation, pp.7-12 (1987)
- 5) 安村誠司, 芳賀博, 永井晴美, 柴田博, 岩崎清, 小川裕, 阿彦忠之, 井原一成; 地域の在宅高齢者における転倒発生率と転倒状況. *日本公衛誌*, 38, 735-741 (1991)
- 6) Sattin RW, Humber DAL, DeVito CA, Rodriguez JG, Ros A, Bacchelli S, Stevens JA, Waxweiler RJ; The incidence of fall injury events among the elderly in a defined population. *Am. J. Epidemiol.*, 131, 1028-1037. (1990)
- 7) Bassey EJ, Rothwell MC, Littlewood JJ, Pye DW; Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J. Bone. Mine. Res.*, 13, 1805-1813 (1998)
- 8) Dalsky GP, Stocke KS, Ehasant AA, Slatopolsky E,

- Lee WC, Birge StJ; Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women. *Ann. Intern. Med.*, 108, 824-828 (1988)
- 9) Hartard M, Haber P, Ilieva D, Preisinger E, Seidl G, Huber J; Systemic strength training as a model of therapeutic intervention : a controlled trial in postmenopausal women with osteopenia. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 75, 21-28 (1996)
 - 10) Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, Trice I, Greenberg RA, Evans WJ; Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. *JAMA*, 272, 1909-1914 (1994)
 - 11) Pruitt LA, Jackson RD, Bartels RL; Weight training effects on bone mineral density in early postmenopausal women. *J. Bone. Miner. Res.*, 7, 179-185 (1992)
 - 12) Simki NS A, Ayalon J, Leichter I; Increased trabecular bone density due to bone-loading exercise in postmenopausal osteoporotic women. *Calcif. Tissue Int.*, 40, 59-63 (1987)
 - 13) 山本晃史; 超音波骨密度測定装置SoundScan2000 = 脛骨超音波骨密度測定法の原理, 基本性能および臨床的知見について = 超音波 TECHNO, 6, 56-68 (1997)
 - 14) Cavanaugh DJ, Cann CE; Brisk walking does not stop bone loss in postmenopausal women. *Bone*, 9, 201-204 (1988)
 - 15) Hatori M, Hasegawa A, Adachi H, Shinozaki A, Harashi R, Okano H, Mizunuma H, Murata K; The effects of walking at the anaerobic threshold level on vertebral bone loss in postmenopausal. *Calcif. Tissue Int.*, 52, 411-414 (1993)
 - 16) Nelson ME, Fisher EC, Dilmanian FA, Dallal GE, Evans WJ; A 1-y walking program and increased dietary calcium in postmenopausal women: effects on bone. *Am. J. Clin. Nutr.* 53, 1304-1311 (1991)
 - 17) Martin D, Notelovitz M; Effects of aerobic training on bone mineral density of postmenopausal women. *J. Bone. Min. Res.*, 8, 931-936 (1993)
 - 18) Michel BA, Lane NE, Bjorkengren A, Fries JF; Running and lumbar bone density : a 5-year longitudinal study. *J. Bone. Min. Res.*, 6 (suppl), S105 (1991)
 - 19) Bravo G, Gauthier P, Roy PM, Payette H, Gaulin P; A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: its impact on bone, functional fitness, and well-being. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 78, 1375-1380 (1997)
 - 20) 宮下充正, 樋口満; 老人と体力. 図説 高齢者白書, 84-93 (1990)
 - 21) McMurdo MET, Mole PA, Paterson C; Controlled trial of weight bearing exercise in older women in relation to bone density and falls. *BMJ*, 314, 569 (1997)
 - 22) Smith EL, Tommerup L; Exercise: a prevention and treatment for osteoporosis and injurious falls in the older adult. *J. Aging. Phys. Act.*, 3, 178-192 (1995)
 - 23) Evans WJ, Cyr-campbell D; Nutrition, exercise, and healthy aging. *J. Am. Diet. Assoc.*, 97, 632-638 (1997)
 - 24) Lewis RD, Modlesky CM; Nutrition, physical activity, and bone health in women, *Int. J. Sport. Nutr.*, 8, 250-284 (1998)