

中高齢女性の下肢筋力と平衡性との関連

糸井 亜弥¹, 木村みさか², 奥野 直¹

Relationship of muscle strength in the lower extremity and equilibrium in middle-aged and elderly women

Aya Itoi¹, Misaka Kimura², Tadashi Okuno¹

要 旨

目的：転倒予防策を体力面から探るため、中高齢女性におけるバランス調整力を含む体力要素と下肢筋力である膝関節の伸展力（膝伸展力）、足関節の底屈力と背屈力（足底屈力、足背屈力）との相互関連を検討した。

方法：40～89歳の女性285名を対象に、片足立ちテストと重心動揺計による平衡能の測定、下肢筋力（膝伸展力、足底屈力、足背屈力）の測定および体力診断バッテリーテスト（開眼・閉眼片足立ち、座位ステッピング、長座位体前屈、垂直跳び、握力、シャトルスタミナウォークテスト）の測定を行った。

結果：被験者の体力値および片足立ちテストの成績は加齢による有意な低下を示した。重心動揺計による成績は重心位置の割合（G%）を除いた全ての項目において有意な加齢変化が認められた。膝伸展力、足底屈力は直線的な加齢低下を示し、50歳群より有意な差を認めたが、足背屈力は40歳群から60歳群まで加齢変化を認めず、70歳以降から有意に低下し始めた。下肢筋力と体力診断バッテリーテストの間には有意な関連が認められ、特に垂直跳びは膝伸展力、足底屈力との間に0.6以上の高い相関を示した。片足立ちテストと重心動揺の各パラメータは下肢筋力、特に膝伸展力と足底屈力との間では全て有意な相関を示し、特に開眼片足立ちでは0.419～0.515、次いで最大前傾位と最大後傾位での重心位置の間隔（A-P%）では0.356～0.393の有意な相関が認められた。

結論：転倒予防には、平衡能を確保する上で、筋力、特に下肢筋力の維持あるいは向上が極めて重要であることが示唆された。

キーワード：下肢筋力、平衡性、中高齢女性

I. はじめに

高齢化社会の到来を迎え、年をとっても健康で

暮らせること、すなわち「健やかな老い」をどのように実現させていくかに関心が寄せられている。高齢期に入り、特に注意しなければならないのは「転ばない」ことである。高齢者における転倒は、骨折や関節の障害を伴うことが多く、特に

1 神戸女子大学 健康福祉学部 健康スポーツ栄養学科

2 京都学園大学 健康医療学部 健康スポーツ学科

大腿部頸部の骨折は、回復までに長い時間を要し、日常生活行動を著しく制限するほか、「寝たきり」の原因となる。転倒予防には、つまずきやふらつきなど不意に起こるバランスの乱れに対し、姿勢をもとの状態へ素早く立て直す身のこなしや筋力をつけておくことが重要である。また、老化は様々な身体能力を徐々に低下させ、なかでも「老化は脚から」と言われるように、下肢筋力やバランス調整力（平衡能）の低下をいかに防ぐかも極めて重要である。従って、加齢に伴う自己の体力を知り、日常生活に必要な最低限の体力をどのように維持するかを日頃から考えておく必要がある。

著者らはこれまで高齢者の転倒予防策を体力面から探りたいと考え、高齢者の立位姿勢保持能に着目した検討を行ってきた。高齢者における体力の加齢変化は、青壮年期を通じてみられる変化の延長線上にあり、各体力要素によって、その低下の経過は異なるが、特に平衡能の低下は、70歳以降に著しく、その頃から転倒が増えてくることを明らかにしてきた^{1,2)}。立位姿勢を保持する能力は、主として視覚系、前庭迷路系および関節や筋からの固有感覚系からの情報に基づく立ち直り反射や筋緊張支配、四肢と体幹の共同運動などによるものである。立位姿勢保持能は、複雑な神経支配のもとに、体重を支えたり、重心を移動させたりする能力に反映するため、片足立ちテストや重心動揺の各パラメータの測定で著しい加齢変化を認める³⁾。片足立ちテストや重心動揺の各パラメータは、他の体力要素である垂直跳びやステップング、また、歩行能では歩幅や歩行速度など下肢筋力との関わりの大きな項目と関連することが認められており⁴⁾、その生理学的背景を明らかにすることは、転倒予防策を考える上で重要である。淵本ら⁵⁾は下肢筋力と歩行能の関係を通し

て、歩幅と歩行速度は下肢筋力がある閾値以下になると低下し始めることを報告している。高齢者における歩行能や歩行動作は、行動体力としての基本的な能力であり、高齢者が自立した社会生活を営むための重要な要素の一つと考えられている。加齢による歩行能のパラメータの変化について、Himannら⁶⁾は女性の場合に歩行速度、歩幅、歩調のいずれにおいても、60歳以降に低下することを報告している。また、高齢者の自由歩行における歩行速度が体力テストの様々な項目と密接な関係にあることや、歩行動作が高齢者特有のものに変化した場合、歩行中のつまずきが多くなるなどを報告している。

高齢者における加齢変化の中で、筋肉量や筋力は20歳を基準として、それ以後に明らかに減少する報告^{2,7-9,13,25)}や、筋力低下は40歳代以後に顕著になるとの報告^{5,10,18)}がみられる。下肢の筋組織における加齢変化については、特に膝伸筋群の筋厚が加齢とともに著しく低下する報告^{11,12,20)}があるが、逆に下腿部の筋断面積については20～50歳代にかけて変化がみられなかったとする報告^{7,13,14,19)}がある。

本研究は転倒予防策を体力面から探ることを目的として、中高齢女性を対象に、バランス調整力を含む体力要素と下肢筋力である膝関節の伸展力（膝伸展力）、足関節の底屈力と背屈力（足底屈力、足背屈力）との相互関連を検討した。

II. 方法

1. 対象者

対象者は京都近郊の市町村等が主催する高齢者向けの健康づくり教室に参加した者および地域の老人会に所属する一般在宅高齢者、調査期間は平成11年（1999年）6月～12月である。本研究計画については、京都府立医科大学倫理審査委員会の

承認を受けた上、対象者に文書と口頭で研究の意義、目的、方法、測定協力の自由、個人情報守秘、測定結果の扱い方などを詳細に説明した後、協力の同意を得た者を被験者とし、測定を実施した。測定場所は、高齢者への身体的負担がないよう、できるだけ被験者の居住地域近くの会場（京都市内2か所・長岡京市1か所）で実施した。本研究では、特に中枢神経系および運動器系に特別な支障を有しない年齢40～89歳の女性285名を分析対象とした。

2. 平衡能の測定

1) 片足立ちテスト

フィールドで簡便に行える平衡能の評価として従来から著者らが用いてきた開眼および閉眼での片足立ちテストを行った。高齢者における片足立ちは数秒以下でバランスの乱れを生じる者が多く、測定は軽く1～2回の練習をした後に行った。2回測定した場合は上位の成績を記録した。開眼および閉眼片足立ちの測定の打ち切り時間は、開眼120秒、閉眼60秒を原則とし、それ以上続けられる場合は開眼180秒、閉眼120秒を上限とした。

2) 重心動揺の測定

重心動揺計は、被験者の直立時における足底圧の垂直作用力に当たる足圧中心点（center of pressure：以下COPと略）を変換器で検出し、足圧中心動揺を電気信号変化として出力する足圧検出装置である。本研究では、被験者を重心動揺計Patella S510（㈱サカモト、埼玉、日本）の上にロンベルグ姿勢（直立で両足の内側縁をつけて、腕を自然に体側に置く姿勢）で楽に立たせ、開眼の場合は3 m前方の指標を注視させた。

測定は、始めに開眼直立姿勢での20秒間の測定を行い、次いで閉眼直立姿勢で20秒間実施した。

各測定は過渡的な動揺が消失した時点より開始した。直立姿勢での重心動揺パラメータとして、足圧中心の累積移動距離を算出した重心動揺軌跡長（以下軌跡長と略）、動揺図の最大左右径と最大前後径の積から算出した矩形面積である重心動揺面積（以下面積と略）、そして、踵からつま先までの足長を100%（踵を0、つま先を100）として、踵から足圧中心点までの距離を割合で示した重心位置（以下G%と略）を算出した。

直立位の測定に続いて、膝や腰を曲げないように注意しながら、姿勢を最大前傾位と最大後傾位で10秒間保持している間の重心位置（足圧中心点COP）の移動を測定した。直立位から徐々に前傾し、最大限前傾できる状態で10秒間姿勢を保持し、直立位と最大前傾位の重心位置の間隔（以下A-C%と略）を測定した。次いで、もう一度直立位の姿勢に戻った後、今度は直立位から徐々に後傾し、最大後傾位で10秒間姿勢を保持し、直立位と最大後傾位の重心位置の間隔（以下C-P%と略）を測定した。そして、A-C%とC-P%を合計した最大前傾位と最大後傾位での重心位置の間隔（以下A-P%と略）を算出した。

3. 下肢筋力の測定

下肢筋力として、膝関節の伸展力（以下膝伸展力と略）と足関節の底屈力と背屈力（以下足底屈力、足背屈力と略）を測定した。

膝伸展力の測定には、デジタル力量計（張力計）100 kg用（㈱竹井機器工業、新潟、日本）を用いた。被験者を椅子に座らせ、足関節に牽引用のベルトを装着し、膝関節が90°屈曲位になるようにベルトに連結した鎖の長さを調節するとともに、力量計が水平に牽引される様に鎖の高さを調節し、固定した。膝を伸展させる時に腰が浮き上がるのを防止するため、腰をベルトでしっかり椅

子に固定し、膝伸展時の等尺性最大筋力を測定した。筋力測定は2回行い、大きい方の値を採用した。

足底屈力と足背屈力の測定には、デジタル力量計300 kg用(株)竹井機器工業, 新潟, 日本)を用いた。被験者を椅子に座らせ、測定用ペダルに足を乗せて母指球部をベルトでしっかり固定した。次に、膝関節が90°屈曲位となる様に椅子の高さを調節した後、パッドを用いて膝を上から圧迫し、足底屈力の測定時に踵が浮き上がるのを防止した。足を乗せたペダルは、足関節を中心に回転するように作られており、その回転軸には半径0.09 mのプーリーを取り付けた。プーリーの溝に下腿の長軸と足を乗せたペダルが90°(足関節角が90°)になるようにワイヤーを巻いて固定し、張力計の値 f (kg)によって回転トルクを測定した。足底屈力と足背屈力の測定は、ワイヤーを付け替え、足底屈力の測定では最大努力でつま先を下に押すように、足背屈力の測定では最大努力でつま先を挙げるように指示し、いずれも等尺性最大筋力を測定した。測定は利き足(しやすい方の足)だけについて行い、2回測定して最大値を採用した。母指球における筋力 F (N)は、踝から母指球までの水平距離 L (m)を実測し、 $F=0.09/L \times f \times 9.81$ の式を用いて算出した。但し、0.09はプーリーの半径(m)、9.81は重力加速度(m/S^2)である。

4. 他の体力要素の測定

体力測定については、従来から著者ら¹⁾が用いている①平衡性:開眼・閉眼片足立ち、②敏捷性:座位ステッピング(以下ステッピングと略)、③柔軟性:長座位体前屈(以下体前屈と略)、④下肢筋力:垂直跳び、⑤上肢筋力:握力、⑥持久力:シャトルスタミナウォークテスト(以下SSTw

と略)からなる6項目の体力診断バッテリーテストを実施した。体力診断バッテリーテストの測定方法の詳細については、これまでの報告^{1,2)}に譲る。

5. 統計処理

分析には統計ソフトSPSS 6.1 J for the Macintosh (IBM, イリノイ州シカゴ, 米国)を使用した。計量データに関しては、年齢階級(10歳間隔)別に平均値と標準偏差を算出し、年齢群間差は一元配置分散分析(one-way ANOVA)を用いて検定した。各2変数間の関連はPearsonの積率相関を用いて関連を検討した。また、年齢を制御変数とした偏相関を用い、相関係数の有意性は両側検定によった。有意性が認められた場合の多重比較はTukey法を用いて検定した。統計結果は $p<0.05$ を有意性ありと判定した。

III. 結果

1. 体格と体力診断バッテリーテストの成績

表1には、被験者の年齢、身長、体重および片足立ちテストを除く体力テストの成績を、年齢階級別(10歳間隔)の平均値±標準偏差(SD)および検定結果を併記した。被験者の年齢が増すごとに身長、体重の値が減少し、年齢群の間に有意差が認められた。一方、被験者の体力値は全ての項目で加齢による有意な低下を示した。

2. 平衡能および下肢筋力

表2には、被験者における平衡性指標としての片足立ちテスト(開眼、閉眼)の成績、重心動揺計の各パラメータの成績を示した。

片足立ちテストの成績は、開眼、閉眼共に加齢による有意な低下が認められ、80歳群の開眼で 17.2 ± 28.6 秒、閉眼では 3.3 ± 3 秒まで減少した。

中高年齢女性の下肢筋力と平衡性との関連

重心動揺の成績にも有意な加齢変化が認められ、軌跡長と面積の成績は年齢階級が上がるごとに増加した。重心位置 (G%) については、統計的な年齢差は認めなかったが、閉眼時は開眼時に比べて、その値が各年齢群において、わずかに前方へシフトすることが示された。

一方、重心位置を直立位から最大限前方向に随意的にシフトさせた間隔の A-C%、直立位から最大限後方向にシフトさせた C-P%、最大前傾位

と最大後傾位の重心位置の間隔 (A-C%と C-P%の合計) である A-P%の各成績には、有意な年齢群間差が認められ、A-P%の成績は70歳を越えると30%以下になることが認められた。

3. 下肢筋力

表2および図1には、被験者の下肢筋力である膝伸展力、足底屈力、足背屈力の成績を示した。膝伸展力、足底屈力はほぼ同じ経過で直線的な加

表1 被験者の年齢、体格および体力

年齢群	Mean ± SD					年齢群間差
	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	
対象数	67	71	79	38	30	
年齢 (歳)	45.0 ± 2.9	54.5 ± 2.8	65.1 ± 2.8	73.7 ± 2.6	82.9 ± 2.9	***
身長 (cm)	157.7 ± 6.0	153.8 ± 4.9	151.3 ± 6.2	151.7 ± 5.2	144.6 ± 5.5	***
体重 (kg)	54.7 ± 8.2	54.1 ± 7.6	51.3 ± 6.5	49.3 ± 5.5	43.8 ± 6.2	***
SSTw (m)	298.9 ± 31.3	281.0 ± 29.6	258.4 ± 25.7	249.8 ± 28.3	260.1 ± 39.0	***
ステップング (回/20秒)	38.1 ± 5.4	35.5 ± 4	33.5 ± 5.3	30.9 ± 5.1	30.4 ± 4.5	***
長座位体前屈 (cm)	13.6 ± 6.3	11.8 ± 8.5	12.1 ± 7.3	10.1 ± 8.5	8.7 ± 7	**
垂直跳び (cm)	34.9 ± 5.3	28.6 ± 5.8	23.2 ± 6.3	20.1 ± 5.5	14.2 ± 5.7	***
握力 (kg)	29.1 ± 5.1	25.3 ± 4.0	22.0 ± 4.0	21.1 ± 4.0	18.2 ± 2.6	***
息こらえ (秒)	46.0 ± 21.3	32.7 ± 13.4	33.2 ± 12.8	31.4 ± 14.3	27.9 ± 9.5	***

one-way ANOVA ** p < 0.01 *** p < 0.001

表2 被験者の平衡性指標および下肢筋力の成績

年齢群	Mean ± SD					年齢群間差	
	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89		
[片足立ち]	開眼	148.2 ± 46.5	116.3 ± 66.7	51.8 ± 50.9	37.7 ± 47.8	17.2 ± 28.6	***
	(秒) 閉眼	43.0 ± 39.2	22.2 ± 29.0	8.2 ± 10.0	5.2 ± 10.4	3.3 ± 3.0	***
[重心動揺軌跡長]	開眼	24.3 ± 5.2	26.2 ± 6.5	30.1 ± 7.7	35.9 ± 10.5	35.1 ± 11.9	***
	(cm) 閉眼	33.9 ± 10.3	33.0 ± 9.2	40.7 ± 14.5	44.2 ± 15.6	45.2 ± 18.9	***
[重心動揺面積]	開眼	3.6 ± 1.8	3.9 ± 1.9	5.2 ± 4.0	7.0 ± 4.2	6.2 ± 5.4	***
	(cm ²) 閉眼	4.9 ± 2.6	4.5 ± 2.2	6.7 ± 3.8	7.7 ± 5.2	6.8 ± 4.2	***
[直立重心位置G%]	開眼	45.0 ± 5.1	45.7 ± 5.4	45.5 ± 4.9	46.0 ± 4.7	46.7 ± 5.7	
	(%) 閉眼	46.4 ± 4.9	47.8 ± 5.4	47.3 ± 5.3	47.5 ± 4.4	47.4 ± 5.7	
[重心位置の移動範囲]	A-C%	23.3 ± 6.8	20.7 ± 7.3	17.8 ± 7.0	14.5 ± 6.3	13.3 ± 7.6	***
	(%) C-P%	16.0 ± 5.7	14.0 ± 6.2	12.9 ± 6.1	13.5 ± 5.4	9.6 ± 6.1	***
	A-P%	39.4 ± 8.8	34.8 ± 9.6	30.7 ± 10.3	28.0 ± 9.0	22.9 ± 10.9	***
[下肢筋力]	膝伸展力	312.4 ± 58.2	272.2 ± 71.0	214.0 ± 52.4	189.7 ± 52.2	163.1 ± 60.2	***
	(N) 足底屈力	693.9 ± 201	566.0 ± 186	438.2 ± 167	350.6 ± 162	315.0 ± 129	***
	足背屈力	241.3 ± 58.1	230.7 ± 53.2	222.1 ± 61.3	173.6 ± 48.2	144.3 ± 48.1	***

one-way ANOVA *** p < 0.001

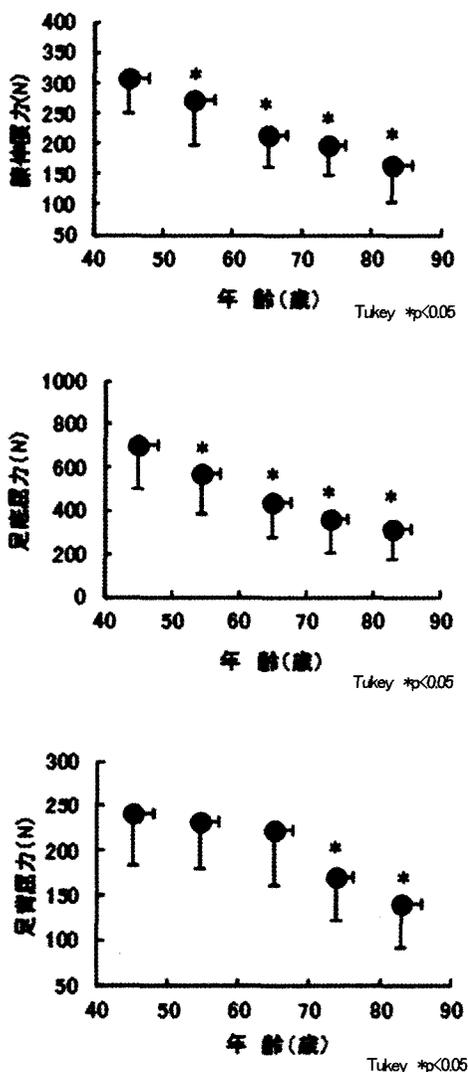


図1 下肢筋力の年齢群別平均値と標準偏差

齢低下を示し、50歳群より有意な差を認めた。膝伸展力は40歳群が312.4 Nで最も大きく、80歳群では40歳群の約半分となる163.1 Nまで低下した。足底屈力も40歳群が693.9 Nで、80歳群では315.0 Nと最小値を示した。それに比べて足背屈力は、40歳群から60歳群までは加齢変化を認めず (241.3 N ~ 222.1 N)、70歳以降から有意に低下し始め、80歳群では144.3 Nまで低下した。

4. 下肢筋力と体力要素との関連

表3には、下肢筋力と体力診断バッテリーテストとの関連を Pearson の積率相関 (単相関) と年齢を制御した偏相関によって分析した結果を示した。

ほとんどの体力要素との間に有意な相関が認められ、特に下肢筋力の指標である垂直跳びは、膝伸展力、足底屈力との間に、また、上肢筋力である握力は、膝伸展力との間に0.6以上の高い相関を示した。

図2には、下肢筋力の膝伸展力、足底屈力、足背屈力と体力テストにおいて高い相関を示した垂直跳びの関連を示した。膝伸展力は50 N、足底屈力は100 N ごとに7グループに、足背屈力は50 N ごとに6グループに分け、各平均値でプロットした。垂直跳びは下肢の筋力を代表するもので

表3 下肢筋力と体力要素の相関および偏相関

	SSTw	垂直跳び	ステッピング	握力	長座位体前屈	息こらえ
膝伸展力	0.504 ***	0.613 ***	0.436 ***	0.617 ***	0.181 **	0.209 **
	0.109	0.248 ***	0.161 *	0.347 ***	0.103	-0.013
足底屈力	0.429 ***	0.602 ***	0.412 ***	0.540 ***	0.216 **	0.193 **
	0.024	0.276 ***	0.150 *	0.250 ***	0.152 *	-0.016
足背屈力	0.414 ***	0.456 ***	0.284 ***	0.509 ***	0.132	0.101
	0.138	0.165 *	0.055	0.303 ***	0.065	-0.072

上段：単相関

下段：偏相関 (年齢)

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

中高年齢女性の下肢筋力と平衡性との関連

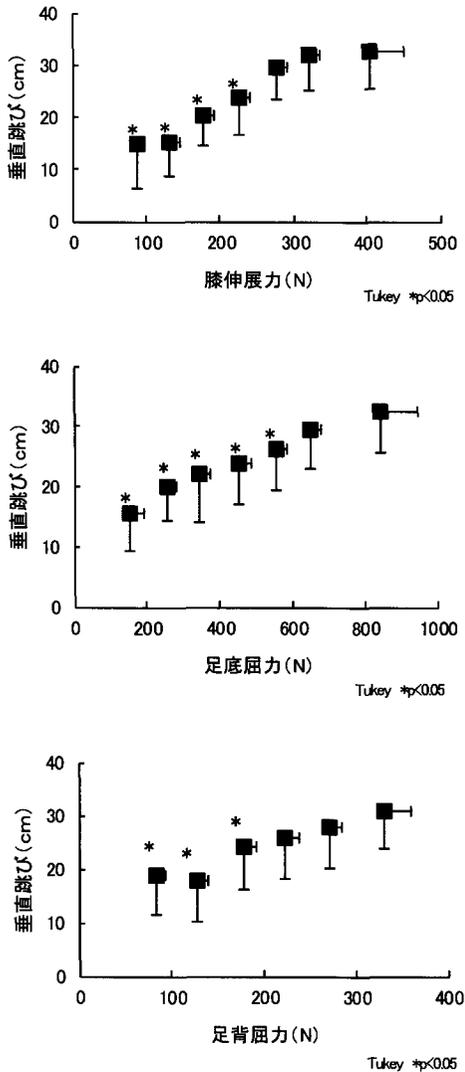


図2 下肢筋力と垂直跳びとの関連

あるが、各下肢筋力のパラメータの最高値から膝伸展力では200~250 N、足底屈力は500~600 N、足背屈力は150~200 Nになると有意に低下することを認めた。垂直跳びの平均値は、膝伸展力が有意に低下する250 N以下では最高値の32.6 cmから23.8 cmまで、足底屈力が有意に低下する600 N以下では最高値の32.6 cmから26.4 cmまで、足背屈力が有意に低下する200 N以下では最高値の30.9 cmから24.2 cmまで低下した。

5. 下肢筋力と平衡性指標との相関

表4には、下肢筋力と平衡性指標である片足立ちテストおよび重心動揺の各パラメータとの関連を示した。平衡性指標は、下肢筋力、特に膝伸展力と足底屈力の間では、全て有意な単相関を示し、特に開眼片足立ちでは0.419~0.515、次いでA-P%では0.356~0.393の有意な高い相関が認められた。また、足背屈力の間でも係数は小さいが、有意な相関を示す項目が多くみられ、平衡性指標との関係においては、足背屈力よりも膝伸展力と足底屈力の関与が高いことが認められた。いずれにおいても、年齢を制御するとその値は小さくなり、年齢要因は重要なファクターであった。

次に、下肢筋力と平衡性指標との直接的な関連をみるための分析を行った。図3には膝伸展力と

表4 下肢筋力と平衡性指標との相関および偏相関

	片足立ち		重心動揺軌跡長				重心位置の移動		
	開眼	閉眼	開眼	閉眼	A-C%	C-P%	A-P%		
膝伸展力	0.515 ***	0.286 ***	-0.277 ***	-0.192 **	0.271 ***	0.298 ***	0.356 ***		
	0.152 *	-0.050	0.041	0.038	-0.034	0.173 *	0.075		
足底屈力	0.419 ***	0.256 ***	-0.247 ***	-0.164 *	0.305 ***	0.321 ***	0.393 ***		
	0.030	-0.062	0.055	0.056	0.042	0.210 **	0.152 *		
足背屈力	0.322 ***	0.126	-0.153 *	-0.088	0.173 *	0.096	0.174 *		
	0.010	-0.142	0.093	0.089	-0.056	-0.035	-0.066		

上段：単相関
下段：偏相関（年齢）

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

足底屈力における重心動揺パラメータとの関連を示した。静的な平衡性指標である重心動揺軌跡長は、筋力が低下すると軌跡長は大きくなるが、標準偏差も大きくなることから、各グループ間の平均値には統計的な差は認められなかった。また、動的なパラメータである A-P% については、膝伸展力では 200 N、足底屈力では 400 N から有意な低下を示し、ともに 30% 以下となっていた。

図 4 には、膝伸展力、足底屈力と開眼片足立ちとの関連を示した。開眼片足立ちテストにおいても重心動揺パラメータ同様に膝伸展力では 250

N、足底屈力では 400 N から有意に低下し、開眼片足立ちテストでは 60 秒以下となることを認めた。

6. 40歳を基準としたその後の年齢における平衡性指標と下肢筋力との関連

図 5 には、40歳を基準としたその後の年齢における平衡性指標と下肢筋力との関連をまとめた。加齢とともに、ほぼ 60歳から 65歳で平衡性指標の低下が起こり、特に開眼および閉眼片足立ちの低下は顕著である。片足立ちテストおよび重心動揺の測定を通して、平衡性指標の低下は歩行能力と

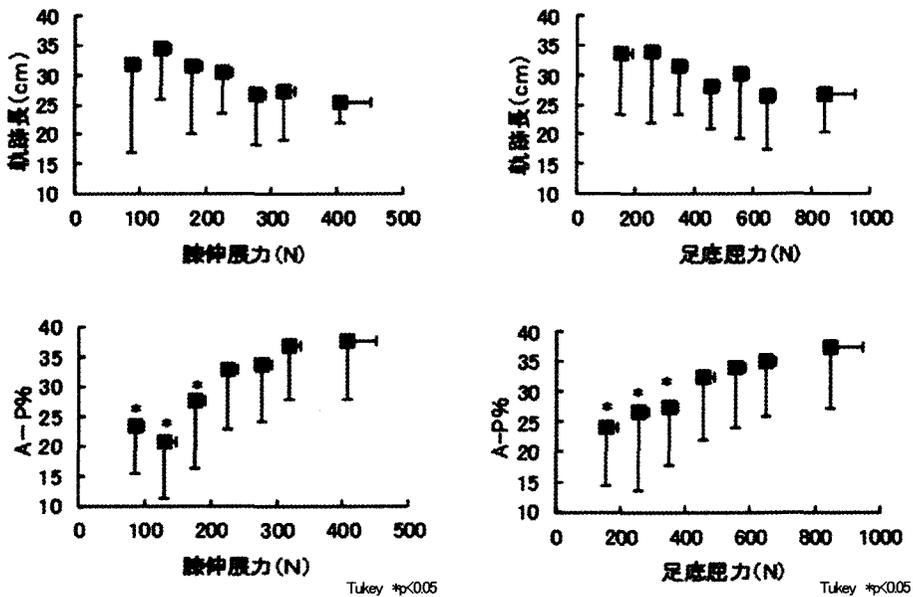


図 3 膝伸展力と足底屈力と重心動揺パラメータとの関連

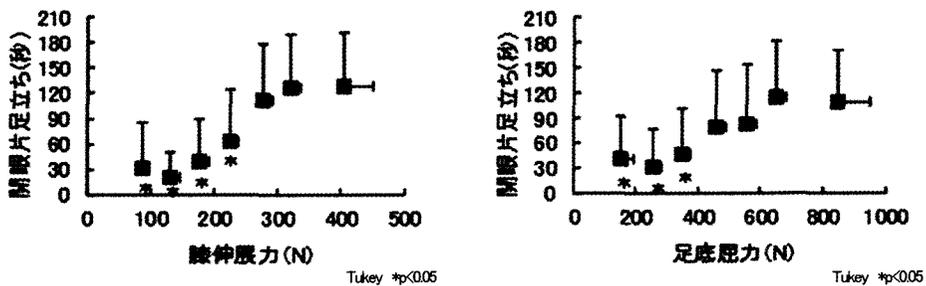


図 4 膝伸展力、足底屈力と開眼片足立ちとの関連

同様に、下肢筋力が膝伸展力で200～250 N、足底屈力で300～400 N、足背屈力で150～200 Nになると低下が始まる傾向を示した。

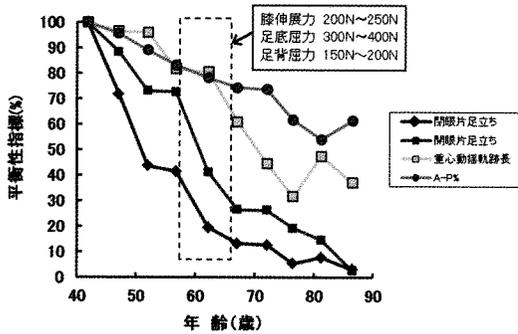


図5 平衡性指標と下肢筋力との関連

IV. 考察

近年、65歳以上の高齢者が人口の25%に達し、その約5%が「寝たきり」になると推測されている。寝たきりの原因は、転倒による下肢、特に大腿頸部の骨折が直接あるいは間接的に関わっており、その発生は男性に比べ女性が1.8倍高いとされている。閉経後の女性における骨粗鬆症は、増加傾向にあり、高齢期に入ってから適度な運動習慣をもつなど骨密度をいかに維持するかが課題である。一般的には、運動の継続により骨密度を高いレベルに維持することで、骨粗鬆症は防げるとされているが、高杉ら¹⁵⁾は高齢期に年相応以上に骨密度を高いレベルに維持している者は、関節軟骨への負担が生じ、変形性膝関節症や変形性脊椎症などの発生率が高くなることを報告している。

著者らはこれまで、高齢期から始まる立位姿勢保持能の低下は、30代から徐々に低下を始める他の体力要素と異なり、下肢に関わる体力やバランス調整力(平衡能)の著しい低下によって引き起こされることを報告してきた^{1,2,4)}。立位姿勢保持能は視覚系、前庭迷路系、皮膚感覚および筋や腱

からの固有感覚系によって支配されているが、その中でバランス調整力は、特に下肢を中心とした筋力に関連し、この筋力の低下を日頃の運動習慣や意識的なトレーニングによってくい止めることが重要である。本研究は転倒予防策を体力面から探ることを目的として、バランス調整力を含む体力要素と下肢筋力である膝関節の伸展力(膝伸展力)、足関節の底屈力と背屈力(足底屈力、足背屈力)との相互関連を検討した。

下肢筋力である膝伸展力、足底屈力、足背屈力は成人以降に明らかな減少を示し、その中で膝伸展力は加齢に伴い直線的に低下することが報告されている¹⁶⁾が、本研究では40歳代に比べて50歳代から有意な低下を認め、60歳代で31.5%、80歳代では47.8%の低下を認めた。伊東ら¹⁷⁾は60歳代から低下し始めることを認めており、本研究における低下と異なった結果となった。足底屈力についても、膝伸展力と同様に50歳代から有意な低下を認め、60歳代で36.8%、70歳代で49.5%、80歳代では54.6%まで有意に低下することを認めた。Fugl-Meyerら¹⁸⁾が示した足底屈力の加齢変化は、男女ともに50歳代から有意に低下を始め、60歳代では約30%まで低下することは、本研究の結果と一致していた。足背屈力は膝伸展力、足底屈力とは低下のパターンが異なり、60歳代まで大きな低下を示さず、70歳代以降から有意な低下を認めた。足背屈力に関して、山科ら¹⁹⁾は40歳代からすでに低下し始め、70歳代では23.8%低下することを報告し、本研究の結果とは異なっていた。加藤ら²⁰⁾は下肢の筋組織における加齢変化について、足底屈筋と足背屈筋の筋厚を調べた結果から、足底屈筋では20歳代と50歳代の間に有意差がみられたのに対し、足背屈筋には差がないことを認めている。また、筋力を体質量当たりでみた膝伸筋力、足底屈力および足背屈力(N/kg)につ

いて、いずれの筋群においても筋力だけの低下と近似した低下傾向を示し、体質量の低下以上に筋力の低下が著しく、その中でも膝伸筋群における%低下が最も著しいことを報告している。測定したそれぞれの下肢筋力は、大腿四頭筋を主動筋とした膝伸展力、母指外転筋や下腿三頭筋を主動筋とした足底屈力、前脛骨筋を主動筋とした足背屈力である。立位姿勢の安定性にどんな筋肉が関わっているかについては、これまで種々の報告^{21,22)}がなされているが、主に安静時の直立姿勢においては抗重力筋がわずかに働いて姿勢を正常に保っている。その状態から緊張が身体に加わると腸腰筋、大腿四頭筋、大腿二頭筋、下腿三頭筋が働いてくる。さらに緊張状態から最大限の前傾姿勢を行わせると、大腿四頭筋の働きは徐々に弱まり、それ以外の身体背面の筋肉に加えて大殿筋や小殿筋を含めた筋肉が主動筋として働く。逆に、後傾姿勢をとると前脛骨筋が緊張するが、さらに最大限まで後傾姿勢を保つと腹直筋や腸腰筋、大腿四頭筋が主として働き、姿勢を維持するとされている。

本研究において、平衡性指標と下肢筋力との間には足背屈力の一部を除き、有意な相関がみられた。そのうち開眼片足立ちの成績は膝伸展力と0.515、足底屈力とは0.419の有意な高い相関を認めた。これらは、重心位置を積極的に前後方向にシフトさせた時のA-P%の相関値よりも高いことから、身体の緊張状態が作られ、大腿四頭筋や大腿二頭筋、腸腰筋を主とした筋肉との関与が示された。また、静的な立位姿勢保持能の課題であるはずの開眼片足立ちは高齢者においては動的な姿勢調節を反映していることが示された。開眼片足立ちにおいては膝伸展力が250 Nから、足底屈力においては400 Nから有意な低下を示した。笠原²⁴⁾は65歳以上の高齢者を対象に片足立位時

間と膝伸展力を測定し、膝伸展筋力が1.20 Nm/Kg以下になると片足立位時間が低下し始めることを認めている。Wolfson²⁵⁾は高齢者が転倒しやすい要因として足底屈力、足背屈力の低下を、Whipple²⁶⁾は特に足背屈力の低下を指摘しているが、本研究では膝伸展力との間にも相関が認められたことから、膝伸展力の低下を予防することが高齢者における運動能力を保持していく上で極めて重要であることを示唆している。Saltin²⁷⁾は下肢筋力に関わる筋肉組成について調べ、速筋線維と遅筋線維の比率は大腿四頭筋で50:50、ヒラメ筋で10:90、前脛骨筋で30:70であり、両筋線維の加齢変化(低下)が速筋線維でより顕著に起こることを認めている。本研究における膝伸筋力の加齢変化は、膝伸筋群である大腿四頭筋を中心とした速筋線維の萎縮に一部反映したものと考えられ、体力要素のうちの垂直跳びやステッピング、SSTwなどの項目や平衡性指標での開眼片足立ちやA-P%の低下に関わることが認められた。福永¹³⁾やKanehisa¹⁴⁾は、足底屈筋と足背屈筋に関わる筋組織の断面積は20歳代から50歳代の間では差がみられないとしているが、足底屈筋と足背屈筋に分けて筋厚を調べた淵本⁵⁾の結果においては、足底屈筋では20歳代と50歳代の間有意差がみられたのに対し、足背屈筋には差がないことを認めた。また、筋力を体質量当たりでみた膝伸筋力、足底屈力および足背屈力(N/kg)は、いずれの筋群においても筋力だけの低下と近似した低下傾向を示し、体質量の低下以上に筋力の低下が著しく、その中でも膝伸筋群における%低下が最も著しいことを報告している。

淵本⁵⁾は下肢筋力と歩行能力の関係において、膝伸展力が250 N、足底屈力が400 N、足背屈力が150 N以下になると筋力低下に伴って、歩行速度や歩幅が低下することを明らかにしてい

る。伊東ら¹⁷⁾は22歳から79歳までの男性81名を対象に10 mの最大速度歩行と膝伸展トルクの測定を行い、歩行速度と歩幅の低下要因の一つに膝伸展力の低下が挙げられると報告している。

高齢者において神経系の低下をくい止めることは困難であるが、平衡能を確保する上で、筋力、特に下肢筋力の維持あるいは向上は極めて重要であり、転倒を予防するための生活習慣として、下肢筋力を高いレベルに維持できるような運動トレーニングの開発を進める必要がある。

本研究は限られた地域の集団を対象とし、今回は分析対象を女性に限定したため、結果を全ての集団に適用できない。中高齢者の下肢筋力と平衡性との関連をより明らかにするには、今後、地域や環境が異なる中高齢女性や男性を対象にしたデータの更なる蓄積が必要である。

利益相反

開示すべき利益相反 (COI) はない。

V. 結論

転倒予防策を体力面から探るため、中高齢女性におけるバランス調整力を含む体力要素と下肢筋力との相互関連を検討した。その結果、平衡能を確保する上で、筋力、特に下肢筋力の維持あるいは向上が極めて重要であることが示唆された。転倒を予防するための生活習慣として、下肢筋力を高いレベルに維持できるような運動トレーニングの開発を進める必要がある。

引用文献

- 1) 木村みさか, 平川和文, 奥野直, 小田慶喜, 森本武利, 木谷輝夫, 藤田大祐, 永田久紀: 体力診断バッテリーテストからみた高齢者の体力測定値の分布および年齢との関連, 体力科学, 38: 175-185, 1989
- 2) 木村みさか, 徳広正俊, 岡山寧子, 奥野直, 中尾高広: 閉眼片足立ちと開眼片足立ちからみた高齢者の平衡機能, 体育科学, 24: 118-129, 1996
- 3) 時田喬: 身体重心動揺の生理、起立・歩行・姿勢の異常(上田, 武内, 豊倉編), 南光堂, 東京, 1981
- 4) 木村みさか, 奥野直, 岡山寧子, 田中靖人: 高齢者の立位姿勢保持能に関する一考察, 体育科学, 26: 103-114, 1998
- 5) 淵本隆人, 加藤浩人, 金子公有: 高齢者の歩行能力に関する体力的・動作学的研究(第2報) - 膝伸展、足底屈、足背屈の筋力と歩行能力の関係 -, 体育科学, 28: 108-115, 1999
- 6) Himann, J.E., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Paterson, D.H.: Age-related changes in speed of walking., Med.Sci.Sports Exerc., 20: 161-166, 1988
- 7) Astrand, P.O. and Rodahl, K.: Text - book of Work Physiology, Mcgraw-Hill Book Com. New York., 1970
- 8) Gutmann, E. and Hazlikova, V.: Basic mechanisms of aging in the neuromuscular system., Mech.Age.Develop., 1: 327-349, 1972
- 9) Moritani, T. and deVries, H.A.: Potential for gross muscle hypertrophy in older men. J.Geront., 35: 672-682, 1980
- 10) 坂本親宣, 浜岡健: 足関節背底屈筋筋力に影響を及ぼす因子 理学療法のための運動生理, 8(4): 177-182, 1993
- 11) 堂園浩一郎, 合志勝子, 大峯三郎, 舌間秀雄, 蜂須賀研二, 緒方甫: 等運動性機器を用いた筋力測定と訓練, 総合リハビリテーション, 22

- (3) : 197-202, 1993
- 12) 近藤正勝, 安部 孝, 福永哲夫, 石田良恵, 朽木勤 : 日本人男女の筋・皮下脂肪厚, 日本体育学会第41回大会, 1990
- 13) 福永哲夫, 金久博昭 : 日本人の体肢組成, 朝倉書店, 東京, 1990
- 14) Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N. and Fukunaga, T. : Cross-Sectional areas of fat and muscle in limbs during growth and middle age., *Int.J.Sport Med.*, 15 (7) : 420-425, 1994
- 15) 高杉伸一郎 : 変形性膝関節症、変形性脊椎症、骨粗鬆症の相互関連に関する疫学調査, 厚生省長寿科学総合研究事業, *Research Journal of Walking*, 1 : 39-44, 1997
- 16) Porter, M.M., Myint, A., Kramer, J. F., Vandervoort, A.A. : Concentric and eccentric knee extension strength in older and younger men and women. , *Can.J.Appl. Physiol.*, 20 (4) : 429-439, 1995
- 17) 伊東元, 長崎浩, 丸山仁司, 橋詰謙, 中村隆一 : 健常男子の最大速度歩行時における歩行周期の加齢変化, *日本老年医学会誌*, 26 : 347-352, 1989
- 18) Fugl-Meyer, A.R., Gustafsson, L., Burstedt, Y. : Isokinetic and static plantar flexion characteristics., *Eur.J.Appl. Physiol.*, 45 : 221-234, 1980
- 19) 山科忠彦, 藤原勝夫 : 底屈力および背屈力の加齢変化, *体力科学*, 43 : 672, 1993
- 20) 加藤浩人, 淵本隆文, 金子公有 : 足底屈筋、足背屈筋および膝伸筋における筋力と筋厚の加齢変化, *大阪体育大学紀要*, 29 : 9-17, 1998
- 21) 小片保 : 筋活動電流による直立姿勢に関する研究, *人類誌*, 62 (2) : 62-72, 1951
- 22) 川初清典 : 脚筋の力・速度・パワー能力の年齢別推移, *体育学研究*, 19 (4) : 201-206, 1979
- 23) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦, 小山吉明 : 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与, *人類誌*, 90 (4) : 385-400, 1982
- 24) 笠原美千代, 山崎裕司, 青木詩子, 横山仁志, 大森圭貢, 平木幸治 : 高齢患者における片脚立位時間と膝伸筋力との関係, *体力科学*, 50 : 369-374, 2001
- 25) Wolfson, L.I., Whipple, R.H., American, P.M., Kaplan, J., Kleiberg, A. : Gait and balance in the elderly., *Clinics in Geriatric Medicine.*, 1 : 649-655, 1985
- 26) Whipple, R.H., Wolfson, L.I. and American, P.M. : The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents. , An isokinetic study. *J.A.G.S.*, 35 : 13-20, 1987
- 27) Saltin, B., Henrikson, J., Nygaard, E., Anderson, P. : Fiber type and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners., *Ann. N.Y.Acad.Sci.*, 301 : 3-29, 1977