

中高齢者の動的バランス能について (ファンクショナル・リーチテストの検討)

糸井 亜弥¹, 木村みさか², 奥野 直¹

Dynamic balance ability in elderly people — Examination of the functional reach test —

Aya Itoi¹, Misaka Kimura², Tadashi Okuno¹

要 旨

目的: 中高齢者の姿勢保持能力低下と転倒の要因を探るため、開眼・閉眼片足立ち、重心動揺の測定、ファンクショナル・リーチテスト (FR) を行い、FR の信頼性と精度を検証するとともに、体力要素や運動能力との関連について検討した。

方法: 60~87歳の男女68名 (男性27名、女性41名) を対象に、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)、重心動揺計による測定、FR および FR 両手法を行った。

結果: 片足立ちテストと FR の成績は、体力要素と同様に加齢に応じて有意に減少するが、女性における年齢群間差は認められなかった。FR 両手法の成績は、女性の年齢群間のみ有意差がみられた。重心動揺の成績については、加齢による変化はみられなかった。FR と FR 両手法において、男性は FR 両手法のステッピングを除くすべての体力要素に有意な相関を認め、女性は FR と握力との間に有意な相関を認めただけで、他の体力要素との関連はなかった。FR と FR 両手法の間には有意な相関を認め (男性 $r=0.622$ 、女性 $r=0.522$)、年齢で制御しても有意な相関を認めた (男性 $r=0.602$ 、女性 $r=0.486$)。FR と平衡機能の指標において、男性では開眼片足立ち、A-C%、C-P%、A-P%との間に、女性では開眼での重心動揺軌跡長、C-P%、A-P%との間に有意な相関を示し、最も高い相関を示したのは、男性の A-P%で、 $r=0.704$ を認め、女性でも $r=0.394$ であったが、FR 両手法においては、男性では有意な相関を示さず、女性では重心動揺軌跡長、C-P%、A-P%との間に有意な相関を示した。

結論: FR の信頼性と精度については、FR による測定は動的な平衡性の要素が大きいが考えられ、FR 両手法は筋力の低い女性や虚弱な高齢者に応用できる容易で簡便な方法となる可能性がある。

キーワード: 動的バランス能、ファンクショナル・リーチテスト、中高齢者

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

I. はじめに

我が国における高齢者の健康問題の重要課題は、「元気で長生きする」という健康寿命の延長である。そのためにはできる限り体力・運動能力を若年時と同じ位の高いレベルで維持し、寝たきりにならないことが基本となる。

高齢者における寝たきりの原因として、老衰を除くと、第1位が脳血管疾患、第2位が骨折である¹⁾。厚生労働省による骨折の調査においては、骨粗鬆症や大腿骨頸部骨折によるものが指摘されている。大腿骨頸部骨折の原因として、安村ら²⁾は「つまずいた」、「滑った」、「足がふらついた」、「めまい」などがあることを報告している。「つまずいた」、「滑った」は本人を取り巻く環境など外因性のもので、「滑りやすい床や地面」、「段差や階段」、「照明不良や暗闇」、「目の粗い織毯やカーペットの綻び」など家庭内外の環境要因が背景となっている。一方、「ふらつく」、「めまい」は、主に本人自身の要因によって発生する内因性のもので、老化に伴って増加する慢性疾患や薬などの臨床医学的な問題が原因となって発生していることを報告している。

転倒は、一般には外因性および内因性のそれぞれのリスクファクターが複雑に絡み合って引き起こされる。転倒予防の観点から考えると、外因性のリスクファクターに対しては対処できることが多く、慎重な行動を心がけることが重要である。内因性のリスクファクターは、さらに深部覚障害、視覚障害、前庭覚障害などの感覚要因、注意障害、睡眠障害、意識障害、認知障害などの高次要因、そして筋力や全身持久力の低下、骨・関節機能障害などの運動要因の3つの内因性に分けられる。感覚要因や高次要因に対しては、専門医による臨床医学的な処方が必要になるケースは多いが、臨床医学上それほど大きな問題を抱えてい

ない一般の高齢者においては、運動要因へのアプローチが最も積極的かつ効果的な転倒予防策と考えられる。

著者らは、高齢者の転倒予防策を体力面から模索したいと考え、従来から高齢者の立位姿勢保持能に着目した研究を継続してきた³⁻⁸⁾。木村ら⁹⁾は歩こう会や地域の健康づくり事業に参加する高齢者を対象に体力と転倒の調査を行い、予想に反して転倒が多く発生しているにもかかわらず、転倒の有無に体力の差はなく、それよりも普段の生活でつまずきやふらつきをよく経験する者の体力が低下していること、また、歩こう会や地域の健康づくり事業に参加する高齢者は転倒しても怪我が少ないことを報告している。不意に起こるバランスの乱れに対して、踏ん張れる足腰の筋力や身のこなしなど姿勢を立て直す復元力が備わっていれば、どんな場面においても転ばないですむ可能性が高くなる。

高齢者の転倒予防策を考える上で必要なことは、信頼性が高く、日常的に簡単に評価できるバランス能（平衡機能）の指標を作成することである。これまで、静的あるいは動的ないくつかの平衡機能の指標が開発されてきた中で、著者らは閉眼・開眼片足立ち^{3,5)}や重心動揺の測定⁶⁻⁸⁾を実施してきた。フィールドで簡便に測定が可能な閉眼片足立ちは体力測定の定番として多くの研究者が用いてきたが、70歳以上になると5秒程度を維持することができず、80歳を越えるとほとんどが測定不可能な0秒近くになり、加齢変化を詳細に追うことは困難である。また、静的あるいは動的な平衡機能の指標として重心動揺の測定があり、重心の移動距離や距形面積、直立姿勢での重心の位置や最大前傾や後傾での重心位置の移動範囲の大きさを評価される⁶⁻⁸⁾。実験室等で得られる重心動揺の測定は精度の高いものであるが、フィー

ルドで日常的に簡便に測定するには不向きである。平衡性の評価は、日常的に使い、正確で、安定しており、年齢に敏感で、臨床的な課題にアクセス可能なものでなければならない。動的バランス能（dynamic balance）の新しい指標として、Duncanら^{10,11)}は、Functional reach (FR) と呼ばれるテストを開発した。FRは直立姿勢で腕を水平に前方に挙げ、可能な限り身体を前傾させながら腕を前方にのばし、指先位置の水平移動距離（cm）を測定するものである。Duncanらは、この測定値の大きさから重心の移動範囲を推定することが可能であり、姿勢の安定性を評価するのに適当であることを示している。

本研究は、中高年齢者の姿勢保持能力低下と転倒の要因を探ることを目的に、これまで著者らが実施してきた閉眼・開眼片足立ちや重心動揺の測定と同時にFRの測定を行い、FRの信頼性と精度を検証するとともに、中高年齢者の体力要素や運動能力との関連について検討した。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、中高年齢者向けの健康づくり事業に参加した神戸市および大阪市周辺地域の在宅の中高年齢者である。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。本研究では、特に中枢神経系および運動器系の既往歴があり、平衡機能が著しく損傷されている者を除く、全測定値の揃った60歳から87歳の68名（男性27名、女性41名）を分析対象とした。

2. 体力診断バッテリーテスト

体力測定については、従来から著者ら³⁾が用いている①平衡性：閉眼・開眼片足立ち、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。なお、閉眼および開眼片足立ちの測定の打ち切り時間は、閉眼60秒、開眼120秒を原則とし、それ以上続けられる場合は閉眼120秒、開眼180秒を上限とした。また、SSTwは歩行による持久性評価として屋内の10mの区間を3分間できるだけ速く歩いて、その距離を測定するもので、測定途中で身体的な違和感があるときには無理をせず出来るだけ早く中止するように指示した。

3. 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）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3m前方の視標を注視させた。

測定は、始めに20秒間の開眼直立姿勢を行い、次いで閉眼直立姿勢で20秒間の測定を実施した。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のパラメータとして、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、最大前傾できる状態で10秒間姿勢を保持し、重心位置の前方向への移動（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、重心位置の後方向への移動（以下 C-P%と略）を測定した。そして、A-C%と C-P%を合計した、すなわち、足長を100%としたときに足の位置を変えないで、姿勢を前後方向へ動かせる身体の支持基盤の大きさ（以下 A-P%と略）を算出した。A-P%は動的なバランス能を評価するもので、どれだけバランスを崩さずに身体の重心位置を前後に傾けることができるかを示すものである。

4. 2種類のファンクショナル・リーチテスト

Duncan ら^{10,11)}によって示された Functional reach テスト（以下 FR と略）は、直立姿勢で立ち、壁の反対側にある腕は自然に体側に下し、もう一方の壁側にある腕を水平にまっすぐ前方にあげ、そこを0点として、そこからバランスを崩さず立位姿勢を保持したまま、壁に貼付けたスケールに添って、どのくらい腕を前にのばせるか、その腕の移動距離（cm）を測定した（図1）。この方法については、できるだけ腰や膝を曲げないように事前に説明した。足を閉じた姿勢で、重心を最小の支持基盤に置いて測定するため、測定者の中には腕を前に突き出すと同時に逆の体側にある腕や

肩を極端に後方に引っ張り、からだを捻るようにして測定したり、片足が床から離れたり、腰をくの字に曲げて姿勢を低くして、前に挙げた腕を水平に動かすことができない場合などは測定をやり直した。

片手を前にのばしながら重心を前へ移動させることが困難な被験者のために、著者らは、棒反応時間の測定に使う棒を両手で握り、そのまま両腕を眼の高さに挙げ、できるだけ腰や背中を曲げずに、棒をゆっくり前に押し出すイメージで足のつま先に重心を移動させ、最大前傾位での棒の移動距離（以下 FR 両手法前とする）を測定する方法を試みた（図2）。また同様に、後ろに重心をか

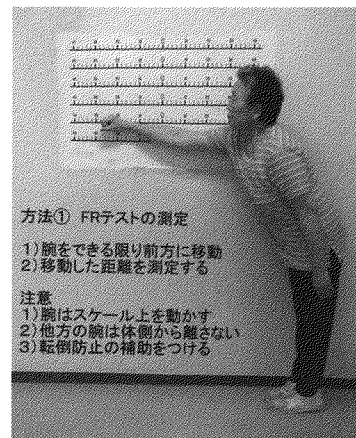


図1 FRテスト

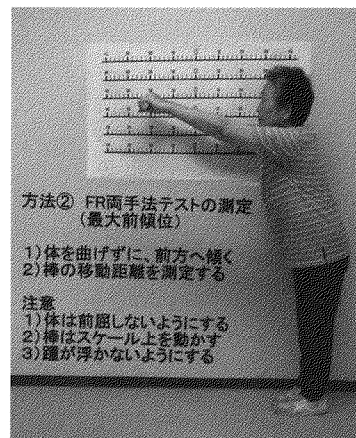


図2 FRテスト両手法前

けながら最大後傾位での棒の移動距離（以下FR両手法後とする）を測定した。そして、FR両手法前とFR両手法後の合計（以下FR両手法前後計とする）を算出した。

なお、各々のFRの測定には、必ず補助者がつき、最大の前傾位および後傾位のとときに被験者が倒れないように注意を払った。測定はいずれも3回実施し、3回の平均値を算出した。

5. 統計処理

計量データに関しては、男女別、年齢階級（5歳間隔）別に平均値とSDを算出し、年齢群間差は分散分析法を用い、男女間差は Student t-test

で検定した。各2変数間の関連は Pearson の積率相関を用いて検討した。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。統計的な有意水準は $p < 0.05$ とした。

III. 結果

1. 対象者の身体特性と体力測定の結果（平衡機能の指標を除く）

表1には、年齢、身長、体重、体脂肪率、BMI および片足立ちテストを除く体力診断バッテリーの成績を男女別、年齢階級別（5歳間隔）の平均値と標準偏差を示し、各変数の年齢群間差、年齢との相関、性差の検定結果を併記した。

表1 対象者の年齢、体格および体力

年齢群	Mean ± SD					年齢群間差	年齢との相関	性差
	60~64	65~69	70~74	≥75	Total			
[男性]	n=7	n=8	n=5	n=7	n=27			
年齢 (years)	62.4±1.7	67.6±0.9	73.2±1.3	79.1±3.0	70.3±6.7	***		
身長 (cm)	163.4±5.0	161.7±6.9	162.5±3.1	162.4±4.3	162.5±5.0		-0.055	***
体重 (Kg)	61.3±6.7	64.6±12.2	60.5±8.9	56.3±9.0	60.8±9.6		-0.158	***
体脂肪率 (%)	20.4±6.0	22.6±7.0	18.3±4.7	15.2±4.6	19.3±6.2		-0.347	***
BMI	23.0±2.1	24.9±4.2	23.0±3.2	21.4±3.7	23.1±3.5		-0.144	*
ステップング (回/20秒)	34.7±6.8	32.9±5.0	33.2±2.9	29.0±6.4	32.4±5.6		-0.438*	
長座位体前屈 (cm)	6.2±8.6	7.8±7.3	-1.5±11.9	-4.3±5.5	2.5±9.4	*	-0.477*	***
垂直跳び (cm)	33.1±6.6	30.3±7.7	26.2±5.6	19.0±5.4	27.3±8.3	**	-0.667***	**
握力 (Kg)	40.0±6.4	38.9±4.3	34.5±6.9	30.0±5.9	36.1±6.8	*	-0.535**	***
SSTw (m/180秒)	280.7±30.7	275.6±22.5	266.4±33.7	232.9±38.9	264.1±35.5	*	-0.493**	
[女性]	n=3	n=23	n=10	n=5	n=41			
年齢 (years)	61.7±1.2	66.5±1.5	71.9±1.4	78.8±4.7	69.0±5.1	***		
身長 (cm)	151.3±9.0	153.8±5.5	151.9±4.4	145.3±4.5	152.1±5.9	*	-0.466**	***
体重 (Kg)	48.8±5.4	51.1±6.8	51.4±5.8	45.9±5.8	50.4±6.4		-0.271	***
体脂肪率 (%)	25.7±0.7	25.2±4.6	26.3±4.7	25.7±5.1	25.6±4.4		-0.010	***
BMI	21.2±0.2	21.6±2.4	22.2±2.3	21.8±2.5	21.7±2.2		0.012	*
ステップング (回/20秒)	35.3±2.1	35.1±4.0	35.8±4.0	29.5±3.4	34.7±4.1		-0.195	
長座位体前屈 (cm)	10.3±10.1	13.2±7.6	13.5±7.4	9.8±12.5	12.7±8.1		0.003	***
垂直跳び (cm)	26.7±6.7	24.3±4.7	21.4±3.8	16.3±1.5	22.9±5.1	**	-0.478**	**
握力 (Kg)	26.2±6.7	24.8±4.0	22.7±3.7	19.0±4.7	23.7±4.5	*	-0.511***	***
SSTw (m/180秒)	271.0±21.7	268.2±14.2	240.1±43.1	229.8±23.9	257.3±28.8	**	-0.501***	

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

*** $p < 0.001$

対象者の体格において、女性の身長は65～69歳から年齢とともに低くなり、有意な年齢群間差が認められ、年齢との有意な相関も認められた。また、体重や体脂肪率、BMIは、男性において年齢とともに低下したが、統計的な差は認められなかった。また、体格変数には性差が認められ、身長、体重、BMIは男性が、体脂肪率は女性が有意に高値を示した。

一方、体力値は、男性がすべての項目で年齢との有意な相関と、年齢群間においてはステップングを除くすべての項目で有意差が認められた。女性ではステップングと体前屈を除く項目で、年齢との有意な相関と有意な年齢群間差が認められ

た。また、体前屈、垂直跳び、握力には性差があり、柔軟性は女性が、筋力系は男性が高値を示した。

女性の体前屈については加齢変化が認められなかったが、男性の結果は60歳代に比べ75歳以上では -4.3 ± 5.5 cmまで有意に低下した。下肢筋力を示す垂直跳びでは、男性の60～64歳で 33.1 ± 6.6 cmが、75歳以上では 19.0 ± 5.4 cmと著しく低下した。女性も同様で、60～64歳の 26.7 ± 6.7 cmが、75歳以上で 16.3 ± 1.5 cmまで低下した。また、上肢筋力を示す握力についても、垂直跳びと同様な結果を示した。持久力を示すSSTwも加齢低下が明らかで、60～64歳で男性 280.7 ± 30.7 m/180秒、女性で 271.0 ± 21.7 m/180秒が、75歳以上で

表2 対象者の平衡性指標の成績 [男性]

年齢群		Mean \pm SD					年齢群 間 差	年齢と の相関	性差
		60～64	65～69	70～74	≥ 75	Total			
		n=7	n=8	n=5	n=7	n=27			
片足立ち									
開眼	(秒)	107.0 \pm 55.5	67.3 \pm 38.3	70.6 \pm 65.6	11.4 \pm 8.6	62.0 \pm 54.4	**	-0.522**	
閉眼	(秒)	16.7 \pm 10.9	8.4 \pm 7.3	5.6 \pm 2.4	3.6 \pm 2.1	8.8 \pm 8.4	*	-0.612***	
FR	(cm)	39.1 \pm 7.0	42.0 \pm 4.4	34.8 \pm 3.3	32.6 \pm 5.3	37.5 \pm 6.3	*	-0.497**	
FR両手法									
前	(cm)	23.1 \pm 8.0	21.5 \pm 6.0	20.8 \pm 4.4	19.4 \pm 5.3	21.3 \pm 6.0		-0.183	
後	(cm)	15.9 \pm 5.4	13.4 \pm 4.2	14.4 \pm 3.8	11.7 \pm 2.8	13.8 \pm 4.2		-0.277	
前後計	(cm)	39.0 \pm 13.0	34.9 \pm 9.9	35.2 \pm 7.9	31.1 \pm 7.9	35.0 \pm 9.9		-0.229	
重心動揺軌跡長									
開眼	(cm)	41.8 \pm 11.1	41.1 \pm 6.9	36.7 \pm 9.5	45.1 \pm 15.9	41.5 \pm 11.0		0.130	***
閉眼	(cm)	51.0 \pm 18.9	55.6 \pm 13.0	49.1 \pm 23.7	67.9 \pm 33.6	56.4 \pm 23.0		0.269	**
重心動揺面積									
開眼	(cm ²)	6.3 \pm 2.3	7.4 \pm 2.8	5.8 \pm 3.3	5.7 \pm 3.0	6.4 \pm 2.7		-0.079	
閉眼	(cm ²)	7.9 \pm 5.3	8.9 \pm 4.1	9.2 \pm 8.9	10.9 \pm 8.1	9.2 \pm 6.3		0.186	
重心位置	(%)	50.9 \pm 5.2	49.5 \pm 6.3	51.2 \pm 6.2	47.7 \pm 3.9	49.7 \pm 5.3		-0.158	
重心位置の移動									
A - C %	(%)	25.1 \pm 4.6	24.8 \pm 7.4	15.9 \pm 4.6	14.9 \pm 4.1	20.7 \pm 7.1	**	-0.620***	
C - P %	(%)	16.0 \pm 5.7	16.1 \pm 5.2	16.1 \pm 5.5	9.3 \pm 4.9	14.3 \pm 5.9		-0.383*	
A - P %	(%)	41.1 \pm 5.4	40.9 \pm 7.1	32.0 \pm 8.2	24.2 \pm 8.3	35.0 \pm 10.0	***	-0.665***	

* p < 0.05

** p < 0.01

*** p < 0.001

男性232.9±38.9 m/180秒、女性で229.8±23.9 m/180秒となり、男女ともに20%近い有意な低下を示した。

2. 平衡機能の指標の結果

表2、表3には、平衡機能の指標として採用した開眼・閉眼の片足立ちテスト、FRとFR両手法の成績および重心動揺計を用いて測定した各パラメータの成績を男女別に示した。

片足立ちテストの成績は、男女ともに他の体力要素と同様に加齢に応じて有意に減少するが、女性における年齢群間差は認められなかった。開眼片足立ちについて、60~64歳で男性107.0±55.5

秒、女性で111.7±60.5秒であったものが、75歳以上で男性11.4±8.6秒、女性で7.4±8.2秒となり90%近い低下を示した。閉眼片足立ちについては、年齢階級ごとに徐々に低下を示し、60~64歳で男性16.7±10.9秒、女性で26.7±24.0秒が、75歳以上で男性3.6±2.1秒、女性も3.6±1.1秒となり、男女ともに5秒を切り、測定がほぼ不可能な者もいた。

FRの成績も片足立ちと同様な傾向を示し、男性においては60~64歳で39.1±7.0 cmあったものが、75歳以上で32.6±5.3 cmまで低下し、年齢との有意な相関と、有意な年齢群間差が認められた。

表3 対象者の平衡性指標の成績 [女性]

年齢群	Mean ± SD					年齢群間差	年齢との相関	性差
	60~64	65~69	70~74	≥75	Total			
	n=3	n=23	n=10	n=5	n=41			
片足立ち								
開眼 (秒)	111.7±60.5	87.3±55.0	71.3±81.8	7.4±8.2	75.2±63.9		-0.448**	
閉眼 (秒)	26.7±24.0	13.3±13.5	7.6±3.5	3.6±1.1	11.7±12.9		-0.383*	
FR (cm)	35.3±10.3	36.3±4.6	36.7±5.0	29.0±8.1	35.5±5.9		-0.355*	
FR両手法								
前 (cm)	25.7±7.2	18.7±3.4	22.7±6.1	17.6±3.3	20.0±4.9	*	-0.131	
後 (cm)	18.7±6.1	12.6±3.5	14.4±4.1	11.2±3.0	13.3±4.1	*	-0.245	
前後計 (cm)	44.3±12.7	31.3±6.0	37.1±6.9	28.8±5.9	33.3±7.7	**	-0.213	
重心動揺軌跡長								
開眼 (cm)	26.2±2.3	32.4±8.3	31.7±7.9	31.8±7.9	31.7±7.8		0.176	***
閉眼 (cm)	35.2±11.1	41.2±14.1	46.1±16.1	45.7±21.3	42.5±15.1		0.309	**
重心動揺面積								
開眼 (cm ²)	3.5±1.7	5.9±2.7	4.8±2.3	5.1±1.9	5.3±2.5		0.067	
閉眼 (cm ²)	6.8±5.5	7.6±4.6	6.6±3.6	7.3±2.7	7.3±4.1		0.032	
重心位置 (%)	44.8±3.6	47.9±5.0	49.1±4.8	50.5±5.7	48.3±4.9		0.249	
重心位置の移動								
A - C (%)	32.2±5.5	23.3±5.2	21.0±4.0	15.6±5.8	22.4±6.1	***	-0.584***	
C - P (%)	13.6±3.7	15.7±5.2	14.4±7.1	10.9±6.4	14.6±5.8		-0.262	
A - P (%)	45.7±6.0	38.9±7.4	35.4±8.5	26.5±12.0	37.1±9.2	**	-0.553***	

* p < 0.05

** p < 0.01

*** p < 0.001

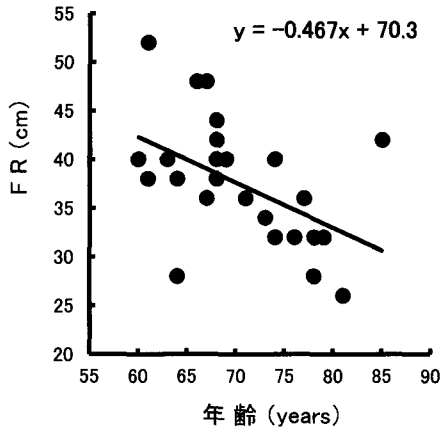


図3 年齢とFRの関連 (男性)

女性においては年齢との有意な相関は認められるものの、年齢群間差は認められなかった。男性の年齢とFR ($r = -0.497$) の関係を図3に示した。

FR両手法は統計的にFRの成績と反対の結果を示し、男性においては年齢との有意な相関や年齢群間に有意差はなく、女性においては年齢との相関は認められなかったが、年齢群間に有意差がみられた。

重心動揺の成績については、加齢による変化はみられなかった。軌跡長については男性が女性に対して有意に高値を示した。足長に対する踵から

の足圧中心点の位置を示した重心位置 (G%) は、男女間および年齢群間に差はなく、全体の平均値では、男性 $49.7 \pm 5.3\%$ 、女性 $48.3 \pm 4.9\%$ であった。

動的バランスの指標となる重心位置の移動に関しては、前方向への重心移動であるA-C%が男女ともに加齢による有意な低下を示し、60~64歳で男性 $25.1 \pm 4.6\%$ 、女性で $32.2 \pm 5.5\%$ が、75歳以上で男性 $14.9 \pm 4.1\%$ 、女性で $15.6 \pm 5.8\%$ まで低下した。また、A-P%では、60~64歳で男性 $41.1 \pm 5.4\%$ 、女性で $45.7 \pm 6.0\%$ であったものが、75歳以上では男性 $24.2 \pm 8.3\%$ 、女性で $26.5 \pm 12.0\%$ まで有意に低下した。C-P%については、男性には年齢との弱い有意な相関が認められたが、女性には年齢との有意な相関や年齢群間差が認められなかった。C-P%の結果から、A-P%でみられた有意な低下はA-C%の影響を受けていた。

3. FRと体力との相関および偏相関

表4には、2種類のFRと体力相互間における相関および年齢を制御した偏相関を男女別に示した。FRとFR両手法において、男性ではFR両手法のステップングを除くすべての体力要素にお

表4 FRと体力要素との相関および偏相関

[男 性]	ステップング	長座位体前屈	垂直跳び	握 力	SSTw
FR	0.438 *	0.675 ***	0.537 **	0.388 *	0.419 *
	0.282	0.574 **	0.319	0.167	0.231
FR両手法	0.081	0.392 *	0.422 *	0.392 *	0.386 *
	-0.021	0.331	0.372	0.422 *	0.323

[女 性]	ステップング	長座位体前屈	垂直跳び	握 力	SSTw
FR	0.049	0.065	0.099	0.367 *	0.292
	-0.021	0.071	-0.086	0.232	0.139
FR両手法	-0.138	-0.148	0.168	0.136	0.055
	-0.188	-0.151	0.077	0.032	-0.063

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

上段 単相関
下段 偏相関

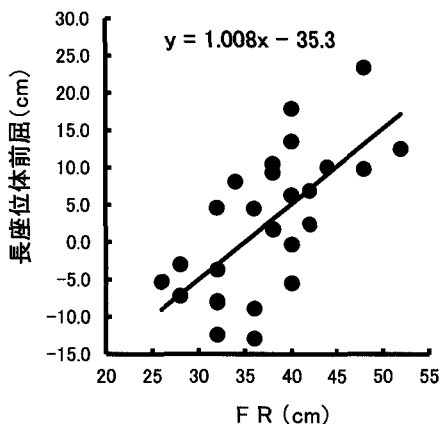


図4 FRと長座位体前屈の関連（男性）

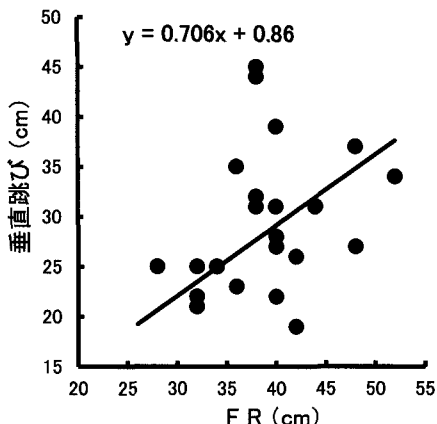


図5 FRと垂直跳びの関連（男性）

いて有意な相関を認めた。女性ではFRと握力との間に有意な相関を認めただけで、他の体力要素との関連はなかった。男性において相関係数が高かったFRと体前屈($r=0.675$)との関係を図4に、垂直跳び($r=0.537$)との関係を図5に示した。

で $r=0.622$ 、女性で $r=0.522$ 、そして年齢を制御した偏相関においては、男性で $r=0.602$ 、女性で $r=0.486$ を認めた。男性のFRとFR両手法との関係を図6に示した。

4. FRと平衡機能の指標との相関および偏相関

FRと平衡機能の指標において、男性では開眼片足立ち、A-C%、C-P%、A-P%との間に、また、女性では開眼での重心動揺軌跡長、C-P%、A-P%との間に有意な相関を示した。最も高い相関を示したのは、男性のA-P%で、 $r=0.704$ を認め、女性でも $r=0.394$ であった。男性のFRとA-P%

表5には、2種類のFRと平衡機能の指標相互間における相関を男女別に示した。FRとFR両手法の間には男女ともに有意な相関を認め、男性

表5 FRと平衡性指標との相関および偏相関

[男性]	FR	片足立ち		重心動揺軌跡長		重心位置の移動			
		FR両手法	開眼	閉眼	開眼	閉眼	A-C%	C-P%	A-P%
FR		0.622 ***	0.420 *	0.170	-0.011	-0.113	0.631 ***	0.437 *	0.704 ***
		0.602 ***	0.165	-0.121	0.062	0.024	0.475 *	0.308	0.576 **
FR両手法		0.622 ***	0.189	0.298	0.051	0.082	0.334	0.210	0.360
		0.602 ***	0.063	0.216	0.084	0.153	0.252	0.137	0.287

[女性]	FR	片足立ち		重心動揺軌跡長		重心位置の移動			
		FR両手法	開眼	閉眼	開眼	閉眼	A-C%	C-P%	A-P%
FR		0.522 ***	0.016	0.092	-0.371 *	-0.257	0.174	0.440 **	0.394 *
		0.486 ***	-0.139	-0.080	-0.336 *	-0.166	-0.043	0.390 *	0.255
FR両手法		0.522 ***	-0.224	0.203	-0.452 **	-0.410 **	0.135	0.359 *	0.315 *
		0.486 ***	-0.339	0.123	-0.431 **	-0.370 *	0.014	0.322 *	0.242

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

上段 単相関
下段 偏相関

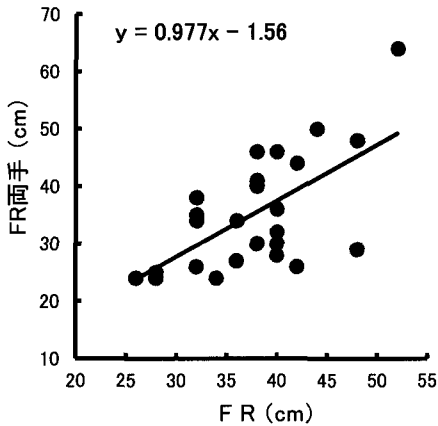


図6 FRとFR両手法の関連(男性)

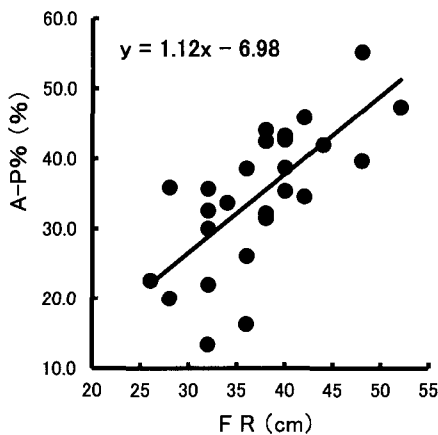


図7 FRとA-P%の関連(男性)

との関係を図7に示した。FR両手法においては、男性では有意な相関を示さず、女性では重心動揺軌跡長、C-P%、A-P%との間に有意な相関を示した。

IV. 考察

歩いているときに不意につまずいたり、こけそうになることはしばしば起こる。身体の重心が保たれていると転倒を防ぐことができるが、重心が身体の支持面よりも外れると転倒が起こる。実際に転倒が引き起こされるような外乱状態を人工的に作り出し、どのように転倒を回避するかを分析する方法は、転倒の危険性を予測するのに有効と

いわれている。具体的には、被験者が予測できないタイミングで負荷をかけ、それによって生じたバランス喪失を補正する姿勢調整能力や立ち直りの力(復元力)を観察するものである。岡田ら¹²⁻¹⁴⁾は、加速度水平移動台を用いて、台上に立っている被験者に瞬間的な前方向の台の移動による外乱を与え、バランスの乱れからの復元力を足圧中心動揺の波形変動(動揺距離)と応答時間から評価した。外乱直後の復元力は、加齢とともに低下することを認め、また、過去に転倒を経験した者と非経験者との比較において、転倒経験群で明らかに復元力が劣るとしている。

Nashnerら¹⁵⁾は、外乱に対する姿勢制御は高度に洗練された神経と筋の連動によるもので、足関節制御と膝関節制御の2種類があり、これらは年齢や疾患により低下するとしている。後方への転倒では、まず足関節を前脛骨筋の働きで背屈させ、次に大腿四頭筋や体幹前面の筋を使って重心の位置を前方へ移動させる足関節制御の働きで転倒を回避しようとする。それでも後方へ転倒しそうであれば、頭部、上肢を前方に突き出し、股関節を屈曲させて殿部を後方へ突き出す股関節制御を行う。足関節制御は重心が支持基底面の中にあるときに活発に働くが、基底面からはずれていくにつれ、股関節制御へと変化していく。Lynnら¹⁶⁾は加齢とともに多くなる高齢者の円背姿勢に着目し、円背姿勢では足関節制御に必要な下腿部の筋肉を瞬時にかつ円滑に活用できず、股関節制御を主に働かせていることを認めている。高齢者によくみられる前屈み姿勢(stooped posture)には四肢、脊椎、骨盤に関係する筋肉や骨関節の硬直が関係している¹⁷⁾。前屈み姿勢は抗重力筋の筋力低下に始まり、重量の大きな頭部の重さに耐えられず股関節部から体幹が前傾し、次第に胸腰椎部の後彎が起こる。重心が前方にかかるため、

膝を曲げ骨盤を後方へ傾けてバランスを保とうとし、やがて股関節と膝が曲がった状態で筋肉や腱の硬直が始まり、関節を包む関節包や関節をつなぐ靭帯などの組織が硬く変性し、関節そのものが硬くなり、高齢者特有の前屈み姿勢が形成される。この姿勢でバランスを保ったり、姿勢を崩す外乱に抵抗したり、スムーズに歩行や方向転換をしたりすることは容易でない。

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、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、下肢に関わる筋力やバランス能（平衡機能）の著しい低下によって引き起こされることを報告し³⁻⁸⁾、静的あるいは動的なバランス能の指標として重心動揺の測定¹⁸⁻²²⁾が用いられてきた。Overstrallら²²⁾は、転倒発生率は男性より女性で高率であり、重心動揺で得られた平衡機能が悪いことを認めている。Loadら²⁰⁾は視覚や知覚機能とともに重心動揺を測定し、1年間にみられる転倒発生率との関連を検討した結果、閉眼直立姿勢での重心動揺は、転倒群と非転倒群に有意差があるが、開眼では差が認められないことを報告している。また、Maryら²³⁾は重心動揺を用いて転倒を予測する場合、バランス能に負荷をかけた状態で重心動揺を測定すべきであると指摘している。さらに、今岡ら²⁴⁾は、重心動揺の軌跡長は20歳代から50歳代前半にかけて比較的安定して変化は少ないが、60歳以降になると顕著に増加することを報告している。これまで著者らが報告してきた結果⁸⁾は、今岡らの結果と同様であったが、本研究では男女共に加齢による有意な変化は認められなかった。重心動揺を評価する場合、山本²⁵⁾は動揺の要素を「形または型」、「大きさ」、「方向性」の3つに分類し、このうち「大きさ」の指標である軌跡長や面積は静

的な立位姿勢の安定性を表すとしている。田口²⁶⁾は高齢者にみられる大きな動揺によって、大きな値を出してしまう動揺面積に比べて、動揺軌跡長が定量的にも優れているとしている。藤原ら²⁷⁾は20歳から79歳までを対象に、動揺軌跡長は20歳代から50歳代まで顕著な差がなく、20歳に対して60歳代や70歳代が有意に増加することを報告しており、その他にも50歳ないし60歳頃から低下するとの報告がいくつかある²⁸⁻³¹⁾。しかし、平沢³²⁾の結果は、著者らの今回の結果と同様で、立位姿勢の安定性は80歳を越えると急に低下し、60歳代と比べて80歳代で、開眼での軌跡長が1.6倍、閉眼で1.8倍となり、その増加率は女性に比べて男性が20%ほど上回るとしている。また、水越³³⁾は軌跡長と面積について20歳代と65~75歳、75~86歳までを比較し、74歳まで青壮年と差がなく、75歳以上で有意差があることを認めている。

平衡機能の静的指標として従来から用いられている開眼・閉眼片足立ちと運動との関連について検討したものうち、宮口ら³⁴⁾や青木³⁵⁾は、開眼・閉眼片足立ちの成績は運動習慣による差が認められず、平衡機能は日常の運動習慣よりも加齢そのものの影響を受けると推論している。しかし、都市在住高齢者179名を対象にした木村らの研究⁹⁾では、散歩程度の運動習慣のある者の体力は、運動習慣のない者に比べ、体力年齢で10年ほど優れており、女子のみであるが閉眼片足立ちにも有意差を認めている。高齢期になって運動やスポーツを始め、それを継続している60歳から79歳の231名を対象とした調査⁶⁾においても、片足立ちの成績と体力要素との関連においては、ほとんど女性において有意差を認めたが、種々の運動種目との間には有意差はなかった。渡辺ら⁴⁰⁾は高齢者の日常の運動習慣の有無と平衡機能との関係を調査し、運動習慣の有る者が、重心動揺の軌跡長や

面積、閉眼片足立ちにおいて有意に優れた値を示したことを報告している。しかし、運動の種類や内容の違いが、いかに平衡機能に影響するかについては詳しく解らないとしている。また、男女差については、運動習慣の有る者で有意差が認められたのが、開眼片足立ちのみで、他の項目では有意差はみられなかった。しかし、運動習慣の無い者については、女性において優れた成績を示し、重心動揺や片足立ちのほばすべての項目で有意差を認め、女性の方が平衡機能の低下が少ないことを示唆している。今回の著者らの結果においても、いくつかの項目で男女差を示すものがあり、運動習慣の有無や運動の種類や強度、頻度の調査を含めて、今後運動習慣の影響を明らかにする必要がある。

FR は、直立姿勢から片腕をできるだけ水平に前方にのばして測定するもので、本研究において、FR と静的あるいは動的な平衡機能の指標との関連性を検証した。Duncan ら¹⁰⁾ は高齢者に対する姿勢制御の新しい動的尺度として、FR を開発した。歩行や種々の活動において腕や脚の動きを通して姿勢活動を安定させる必要性があり、若年者と比較して、高齢者では運動効率の低下や連続する運動に対する神経筋活動の遅延などが生じる事を指摘している。Palta ら³⁷⁾ は、FR と足圧中心の移動範囲との相関は高い値 (0.71) を示すが、FR は重心移動範囲の直接的な尺度とみなすべきではないとしている。それは、FR の測定にいくつかの要因が影響を与えることを指摘している。高い身長の影響や、また男性が女性に比べて高い値を示すこと、重度の認知障害、極度の脊柱変形や上肢の機能制限、腕や脚を支持できず、少しの重心移動も維持できない虚弱な高齢者では安定した評価を得る事ができないとしている。今回得られた FR と体力要素との相関においては、男

性ではすべての項目で、女性では握力のみに有意な相関がみられた。FR と平衡機能の指標については、静的な指標である男性の開眼片足立ちと女性の開眼での重心動揺軌跡長とに有意な相関がみられた。また、動的な平衡機能の指標として身体の前後方向への支持基盤の大きさを表している A-P% と FR との関連については、男性で 0.704、女性で 0.394 の高い相関を示し、FR は動的な平衡性の要素が大きいことが考えられた。しかし、種田ら³⁶⁾ によると、平均年齢 20 歳の大学生の A-P% は約 60% (男性 61.5 ± 5.2%、女性 61.0 ± 5.8%) であるのに対し、高齢者では 20% (男性 21.5 ± 5.7%、女性 20.1 ± 6.8%) まで減少することを報告している。今回新たに導入した FR 両手法については FR テストとの間に高い相関を示した男性の A-P% には有意な相関を示していない。FR 両手法に関しては、女性において静的な重心動揺軌跡長や A-P% との関連が示されたことから、筋力の低い女性や虚弱な高齢者に応用できる容易で簡便な方法と考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

高齢者の転倒問題を研究するためには、転倒を起こす原因をできるだけ少なくしていく中で、転倒を起こす動きの状態に近い動的な平衡機能や、平衡機能や歩行能と相関の高い下肢筋力を評価することは、今後、転倒予防の運動種目や内容、トレーニング方法などを提案するために必要である。高齢者において、運動はどの年齢から始めても、下肢筋力の増強や平衡機能の改善、骨量の増加³⁹⁾、あるいはふらつきの原因となっている脳血管疾患や起立性低血圧などの予防や改善に効果があることが知られている。静的あるいは動的な平衡機能の指標として、片足立ちや重心動揺、今回の FR 等が用いられているが、高齢者においては、運動習慣の有無や下肢筋力の低下の割合、男女の

体格や体力要素の違い、虚弱な健康状態などを考慮した、年齢に応じた平衡機能の指標を明らかにする必要がある。

本研究は限られた地域の集団を対象とし、分析に使用したサンプルサイズが少ないため、十分に評価できなかった。また、身長などの要因を考慮した解析を行うべきであったが、各群のn数が少ないため、制御因子を除外して解析を行った。FRの信頼性と精度をより明らかにするには、今後、地域や環境が異なる中高年齢者を対象にしたデータの更なる蓄積が必要である。

V. 結論

中高年齢者の姿勢保持能力低下と転倒の要因を探るため、開眼・閉眼片足立ち、重心動揺の測定、ファンクショナル・リーチテスト（FR）を行い、FRの信頼性と精度を検証するとともに、体力要素や運動能力との関連について検討した。FRの信頼性と精度を検証した結果、FRによる測定は動的な平衡性の要素が大きいことが考えられ、FR両手法は筋力の低い女性や虚弱な高齢者に応用できる容易で簡便な方法となる可能性がある。中高年齢者においては、運動習慣の有無や下肢筋力の低下の割合、男女の体格や体力要素の違い、虚弱な健康状態などを考慮した、年齢に応じた平衡機能の指標を明らかにする必要がある。

利益相反

開示すべき利益相反（COI）はない。

引用文献

- 1) 厚生省長寿科学研究退行期骨粗鬆症の予防に関する研究班：日本骨代謝学会雑誌，11：119,1993
- 2) 安村誠司：転倒（fall），新老年学第2版（編集代表 折茂肇），東京大学出版会，東京，pp.527-536, 1999
- 3) 木村みさか，平川和文，奥野直他：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
- 4) 木村みさか：高齢者への運動負荷と体力の加齢変化および運動習慣，J.J.Sport.sci.,10：722-728,1991
- 5) 木村みさか：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
- 6) 木村みさか，岡山寧子，奥野直他：高齢者の運動・スポーツが平衡機能に及ぼす影響，体育科学，25：111-119, 1997
- 7) 木村みさか，岡山寧子，小松光代他：平衡性指標と歩行能の関連からみた高齢者の立位姿勢保持能，体育科学，27：83-93,1998
- 8) 木村みさか，奥野直，岡山寧子他：高齢者の立位姿勢保持に関する一考察，体育科学，26：103-114, 1998
- 9) 木村みさか，森本好子，寺田光世：都市在住高齢者の運動習慣と体力診断バッテリーテストによる体力，体力科学，40：455-564, 1992
- 10) Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J., Studenski, S. : Functional reach : A new clinical measure of balance, J.Gerontology., 45 : M192-M197, 1990
- 11) Weiner, D.K., Duncan, P.W., Chandler, J., Studenski, S.A. : Functional Reach : A maker of physical frailty, J.Am.Geriatr. Soc., 40 : 203-207,1992
- 12) 岡田修一，高田義弘，平川和文，浅見高明：高齢女性の転倒経験者と未経験者の加速度外乱に対する姿勢保持能の比較，体育・スポーツ科

- 学, 7 : 23-30,1998
- 13) 岡田修一, 平川和文, 浅見高明: 高齢者の加速度外乱に対する姿勢保持能力と行動体力および日常動作能力との関係, 教育医学, 44 : 549-563,1999
- 14) 岡田修一, 高田義弘, 平川和文他: 高齢女性の加速度外乱に対する立位姿勢保持能力と日常生活活動量との関係, 体力科学, 49 : 111-120, 2000
- 15) Nashner L.M., McCollum G. : The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis, Behav Brain Sci, 8 : 135-172,1985
- 16) Lynn, S.G., Sinaki, M., Westerlind, K.C. : Balance characteristics of persons with osteoporosis. Arch. Phys. Med. Rehabil., 78 : 273-277,1997
- 17) Elble RJ : Change in gait with normal aging. In : Masdeu JC SLWL, ed. Gait disorders of aging. Falls and therapeutic strategies. New York : Lippincott-Raven, pp.93-105,1997
- 18) 平松和子他: 老人の骨折予防に関する基礎的研究(骨折老人の接地足跡と重心動揺の検討), 金沢医短紀要, 17 : 157-160,1993
- 19) 平松和子, 泉キヨ子: 入院患者の転倒の要因に関する検討(転倒の有無別にみたADL・重心動揺の1年間の変化), 金沢医短紀要, 19 : 127-129,1995
- 20) Load, S.R., Clark, R.D., Webster, I.W. : Physiological factors associated with falls in an elderly population, J.Am.Geriatr. Soc., 39 : 1194-1200,1991
- 21) Motta, M., Spano, A., Neri, M., et al. : The specificity and sensitivity of computerized posyurography in study of postural unbalance in the elderly. Arch. Gerontol. Geriatr., Suppl. 2 : 127-132,1991
- 22) Overstrall, P.W., Exton-Smith, A.N., Imms, F.J., Johnson, A.L. : Falls in the elderly related to postural imbalance. Br. Med. J., 319 : 141-146,1981
- 23) King, M.B., Judge, J.O., Wolfson, L. : Functional base of support decrease with age. J. Gerontology., 49 : M258-M263,1994
- 24) 今岡薫, 村瀬仁, 福原美穂: 重心動揺における健常者のデータの集計, Equilib. Res., 56 (12) suppl : 1-8,1997
- 25) 山本昌彦: 重心動揺の解析 - 重心動揺パターンの定量化について -, 耳鼻臨床76 (2) : 183-196,1989
- 26) 田口喜一郎: 重心動揺の正常範囲について, 耳喉, 46 (6) : 415-420,1974
- 27) 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, 人類学雑誌, 90 (4) : 385-399,1982
- 28) 坂口明, 角田興一: 重心移動量による平衡機能の評価, 体力科学, 26 : 64-69, 1977
- 29) Sheldon, J.H. : The effect of age on the control of sway, Gerontol. Clin., 5 : 129-138, 1963
- 30) 八木一記: ヒト直立時重心動揺の多変量解析(第1報) - 重心動揺からみた年齢変化 -, 日耳鼻, 92 : 899-908,1989
- 31) 山本高司: 直立時動揺の年齢による変化, 体力科学, 28 : 249-256,1979
- 32) 平沢弥一郎: 日本人の直立能力について, 人類学雑誌, 87 : 81-92,1979
- 33) 水越鉄理, 渡辺行雄, 中川肇他: 高齢者の姿勢制御に占める視覚系体性感覚系の役割, 耳鼻

臨床, 39: 745-749, 1993

- 34) 宮口和義, 出村慎一, 宮口尚義: 高齢ゲートボール愛好者の体力特性, 体力科学, 39: 262-269, 1990
- 35) 青木純一郎: 高齢者の反応時間, 体力科学, 19: 67-72, 1991
- 36) 種田行男, 永松俊哉, 荒尾孝他: 高齢者の日常生活における身体活動能力(生活体力)測定法に関する研究, 第1報姿勢保持能力について, 体力研究, 78: 1-9, 1991
- 37) Palta, A.E., Winter, D.A., Frank, J.S., Walt, S.: Identification of age-related changes in balance control system. Proceedings, Balance Symposium, APTA, Nashville, Tennessee, June, 13-15, 1989
- 39) 山崎薫他: 骨折, 新老年学第2版(編集代表折茂肇), 東京大学出版会, 東京, pp.519-526, 1999
- 40) 渡部和彦, 宮川健: 高齢者における日常の運動習慣と立位姿勢の安定性, 体力科学, 22: 145-151, 1994