

博士論文

バランス能力の因子構造に及ぼす加齢の影響

平成22年度

筑波大学 大学院人間総合科学研究科

漆畑 俊哉

目次

関連論文等	1
第1章 序論	2
第2章 研究小史	
第1節 バランス能力	7
第2節 バランス能力の加齢変化	9
第1項 バランステストに関する研究	10
第2項 バランス能力及び転倒に関する運動介入の効果	34
第3節 バランス能力の評価に関する理論的な背景	38
第4節 バランス能力と転倒の関連	42
第1項 転倒の発生頻度および性差	42
第2項 転倒とバランス能力	44
第3章 研究課題	46
第1節 問題点	48
第1項 バランス能力の因子構造に関する問題点	47
第2項 バランス能力の因子構造における加齢変化に関する問題点	48

第3項 運動介入がバランス能力の因子構造に及ぼす影響に関する問題点	49
第2節 研究課題の設定	50
第3節 研究の意義	50
第4節 用語の定義	53
第4章 若年者と高齢者におけるバランス能力の因子構造	
第1節 目的	59
第2節 対象者	60
第3節 測定方法	61
第4節 結果	72
第5節 考察	80
第6節 要約	83
第5章 バランス能力の因子構造における加齢の特徴	
第1節 目的	85
第2節 対象者	85
第3節 測定方法	88
第4節 結果	90
第5節 考察	94
第6節 要約	98

第6章	バランス能力の因子構造からみた運動介入の効果	
第1節	目的	100
第2節	対象者	102
第3節	測定方法	102
第4節	結果	109
第5節	考察	116
第6節	要約	121
第7章	総括と将来の課題	
第1節	総括	122
第2節	研究の限界	124
第3節	将来の課題	126
	引用文献	129

関連論文等

本論文は、以下に示した論文に、未発表の実験結果を加えてまとめたものである。

1. Toshiya Urushihata, Takashi Kinugasa, Yuki Soma, Hirokazu Miyoshi.
Aging effects on the structure underlying balance abilities tests.
Journal of Japanese Physical Therapy Association, Volume 13, No 1,
2010. (2009年10月4日 受理)
2. 漆畑俊哉, 衣笠隆, 相馬優樹, 三好寛和. 女性前期高齢者のバランス能力を改善させる運動介入:無作為比較試験. 体力科学, 59巻1号, 97-106,
2010. (2009年9月16日 受理)
3. 相馬優樹, 衣笠隆, 漆畑俊哉, 三好寛和. 重心移動課題における足関節筋の同時収縮に及ぼす加齢の影響. 体力科学, 59巻1号, 143-156,
2010, (2009年11月11日 受理)

第1章 序論

我が国の平均寿命は2008年度の推計によると、男性が79.3歳、女性が86.1歳であり、男女ともに世界最高水準である（厚生労働省 2008年簡易生命表）。高齢者の全人口に占める割合では22.4%と世界第1位であり、そのうち75歳以上が10.5%を占めている（総務省統計局 2009年推計人口）。

我が国の急速な高齢化に対処するために、厚生労働省は2000年に介護保険制度を制定し、2006年からは高齢者の日常生活活動を維持し、機能低下を予防する新予防給付制度を制定している。しかしながら、2000年に218万人であった要介護認定者は2008年で441万人となり約202%増加している。このように高齢化が進んだ我が国では、要介護認定者が急増しており、高齢者であっても自立した生活の維持が求められている。

健康な高齢者でも突然、要介護に陥る要因に転倒・骨折がある。高齢者は転倒・骨折によって、長期入院を余儀なくされ、要介護に陥る場合がある。高齢者の転倒は毎年20%生じ、転倒による骨折は加齢とともに増加する（安村 1994；新野ら1995）。また骨折を生じない場合でも、転倒経験（安村 1994；芳賀 1997）

はその後の再転倒への不安 (Binda et al. 2003; Hauck et al. 2008)から外出が少なくなるなど身体活動量が減少し (Vellas et al. 1997; Tinetti & Williams 1998)、要介護に進行する。

転倒発生の報告によると、女性が男性よりも圧倒的に多い (芳賀 1997; 加納 1997; 植木ら 2003; 鈴木 2006)。転倒恐怖および転倒恐怖感のために外出を控える割合は男性で59.7%、女性で83.1%であり、女性に多い (金ら 2003)。これらのことより、要介護認定者はもとより、地域在住の女性高齢者を対象とした転倒および転倒恐怖感を取り除く施策が求められている。

転倒および転倒不安と関連する予測因子として、バランス能力の低下が挙げられている (Rubeinstein et al. 1988; Graafmans et al. 1996; Rubeinstein & Josephson; 2002; Stalenhoef et al. 2002)。要介護の身体的要因に着目した疫学的研究によれば、バランス能力障害は第2位に位置し、相対的な危険率は2.6から2.9倍、再転倒の危険率は5.0倍に増大する (Graafmans et al. 1996; Rubenstein & Josephson 2002)。また再転倒と関連する予測因子を明らかにした研究でも、性、年齢、転倒回数、精神機能、筋力、バランス能力のうち、バランス能力が3.9倍と最も強い予測因子であると報告している (Stalenhoef et

al. 2002)。さらに、バランス能力の低下は、たとえ転倒を生じない場合でも転倒に対する恐怖や不安を生じる (Vellas et al. 1997; Legters et al. 2002; Binda et al. 2003; Hauck et al. 2008)。

バランス能力は立位姿勢を静的に保持するだけでなく、書棚の本を取るなど立位姿勢を保持しながら目的動作を行う、歩行等の日常生活場面で要求される。いわば、バランス能力は若年者や高齢者を問わず、生涯の大部分で必要な能力であるといえる。このような背景から、数多くのバランステストが開発されている。その中で、バランス能力は静的バランス能力、動的バランス能力に分けられると言われている。言い換えると、バランス能力は静的バランス能力、動的バランス能力の下位構造を持つ、いわゆるバランス能力の因子構造の存在を伺わせている。静的バランス能力は静止した立位姿勢を保持する能力、動的バランス能力は身体を随意的に移動させた時の立位姿勢を保持する能力と定義している。しかしながら、数多くのバランステストから実証的にバランス能力の因子構造を明らかにした研究は少ない。このために、片足立ちは静的バランス能力を評価すると主張する研究がある一方、片足立ちは動的バランス能力を評価すると主張する研究がある。同様のことはfunctional reachでもみられる。

また、研究の対象者は老人ホームに入所している、あるいは障害を有する、虚弱などであり、要介護を受けていない地域在住の高齢者を対象にした研究は少ない。要介護者を減少させるという予防的観点から地域在住高齢者を対象とする必要がある。特に女性は要介護に陥りやすく、転倒しやすいために、女性を対象とする意義がある。

地域在住高齢者のバランス能力の因子構造が明らかになると、多数のバランステストを縮約することができ、かつ包括的なバランス能力の評価が実現できる。またバランス能力の因子構造によって、バランス能力の個人差を反映するバランス能力を明らかにすることができる。さらに、運動介入の効果をバランス能力の因子構造によって評価することで、改善するバランス能力の詳細を把握することが可能となり、ひいては転倒を予防する運動の立案が期待される。

以上より、本研究では地域在住高齢者を対象としたバランス能力の因子構造に及ぼす加齢と運動介入の影響について明らかにする。このために、高齢者と若年者に共通するバランス能力の因子を抽出する（第4章）。次に、抽出されたバランス能力の因子を用いて、高齢者と若年者を対象にバランス能力の因子構

造における加齢の特徴を明らかにする（第5章）。これらの結果を踏まえて、運

動介入によるバランス能力の改善を明らかにする（第6章）。

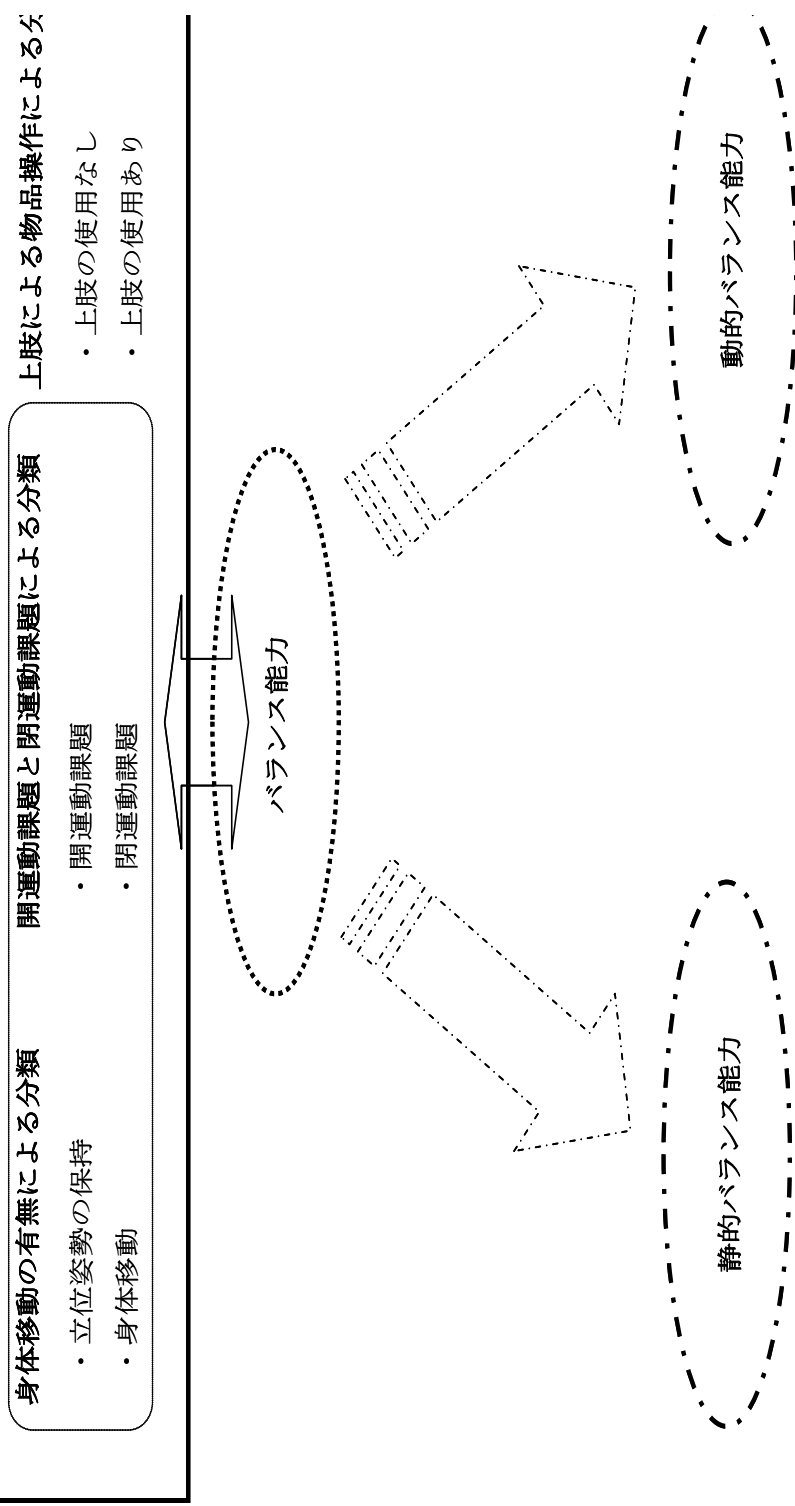
第2章 研究小史

第1節 バランス能力

バランス能力は支持基底面内に重心を維持し、立位姿勢を安定させる能力である (Murray et al. 1975)。バランス能力は日常生活の中で静的に立位姿勢を保つだけでなく、書棚の本を取るなど立位姿勢を維持しながら目的動作を行う、歩行など多様な状況で用いられている。このために、バランス能力を評価するために、さまざまな運動課題が設定されている (Sheldon 1963; Nashner et al. 1976; Bohannon et al. 1986; Duncan et al. 1990; Podsiadlo & Richardson 1991)。

Gentile (1987)は動作を起こす時の課題目標と環境にもとづいて運動課題を分類した (図 2)。Gentile の分類法では、身体移動の有無、開運動課題と閉運動課題、上肢による物品操作から成り立っている。身体移動の有無では立位姿勢の保持と身体移動に分けられる。開運動課題では、予測不可能な環境で遂行される運動課題である。例えば立位姿勢を維持している時に、後ろから突然押

バランステストの課題 (Gentile 1992)



されるような課題である。閉運動課題は、反対に予測可能な環境で遂行される運動課題であり、立位姿勢を静かに維持する課題である。上肢による物品操作では、手を使って物品を操作する場合と操作しない場合を比較する。たとえば、水が一杯入ったコップを持って歩行する場合とコップを持たない歩行である。しかし、本研究のバランス能力は上肢による物品操作がない場合と限定しているので、上肢による物品操作は取り上げない。

このように、本研究では Gentile の考えにもとづいた運動課題、すなわち、バランステストを用いる。

第2節 バランス能力の加齢変化

バランス能力を評価するためのバランステストについて、Horak (1997) は目的別に、課題遂行型の機能テスト、重心動揺などの定量的な機能テスト、両者を合わせたシステム理論に基づく機能テストに分類されるとして、様々なテストを紹介している。課題遂行型の機能テストでは Berg balance scale、Performance-oriented mobility assessment、定量的な機能テストでは片足立

ち、functional reach、timed up and go、歩行、継ぎ足歩行、システム理論に基づく機能テストでは EquiTestが用いられている。本研究では、これらのテストについて概説する。

第1項 バランステストに関する研究

①重心動揺

重心動揺は足圧中心の移動を記録する重心動揺計を用いて評価する (Murray et al. 1975)。 重心動揺はテスト-再テストで0.71から0.95の相関があり (Bauer et al 2008; Lafond et al. 2004)、信頼性があるといえる。

重心動揺は加齢によって増加し、特に閉眼時の重心動揺が大きい (Sheldon 1963; Overstall et al. 1977; 橋詰ら 1986; 伊東ら 1990; Du Pasquier et al. 2003)。例えば、Sheldon (1963) は 65-80 歳以上を対象に動揺面積を測定し、20-29 歳を 100% すると、60-69 歳で 160%、70-79 歳では 183% であり、60 歳から約 1.6 倍に動揺は増加すると報告している。Murray et al. (1975) は 30 秒間の重心動揺は 10-30 歳で 27.2cm、31 歳-50 歳で 28.2cm、51 歳から 70 歳で 33.0cm であり、加齢による増加を報告している。横断的研

究でも、30 秒間の重心動揺は年齢と 0.98 以上の有意な正の相関を認め、平均 2.2 年後の動揺速度は平均 0.66cm/s から平均 0.75cm/s に増加する報告がある (Du Pasquier et al. 2003)。また開眼と閉眼の重心動揺における加齢変化では、22-95 歳を対象に開眼および閉眼の安静立位保持を 20 秒間行い、開眼と閉眼の重心動揺は 22-39 歳で 21.5cm と 37.5cm、60-69 歳で 25.6cm と 44.8cm、70-79 歳で 35.2cm と 66.6cm であり、閉眼時の重心動揺は加齢によって増加すると報告している (橋詰ら 1986)。

重心動揺は女性が男性よりも大きく動揺する (Overstall et al. 1977; Panzer et al. 1995)。Overstall et al. (1977)は男女の重心動揺を測定し、女性は男性よりも重心動揺が大きく、バランス能力の低下の他に眩暈や躓き等の多数の転倒発生状況と関連すると報告している。Panzer et al. (1995)は、21-77 歳の男女の重心動揺は男性が 191mm、女性が 200mm であり、男性よりも女性の重心動揺は大きい傾向であると報告している。

加齢による重心動揺の低下は転倒および転倒不安と関連する (Overstall et al. 1977; Thapa et al. 1996; Okada et al. 2001; Stalenhoef et al. 2002)。Okada et al. (2001)は転倒不安のない高齢者の重心動揺を 100%にすると、転

倒不安のある高齢者は重心動揺が 129%に増大すると報告している。Stalenhoef et al. (2002)は再転倒と関連する予測因子を探索したところ、性、年齢、転倒回数、精神機能、筋力、重心動揺のうち、重心動揺が 3.9 倍と最も重要であると報告している。

以上より、重心動揺は信頼性が検証され、加齢、性差、転倒および転倒不安による妥当性が検証されているバランステストである。

② 片足立ち

片足立ちは片足で立位を保持する時間を評価する (Bohannon et al. 1984)。片足立ちはテスト-再テストで0.69から0.75の相関があり (Giorgetti et al. 1998; Curb et al. 2006)、信頼性がある。片足立ちは研究によって静的バランス能力 (Islam et al. 2004)、あるいは動的バランス能力 (Gawron et al. 2002) の評価指標に用いられている。

片足立ちの保持時間は、加齢とともに低下する (Bohannon et al. 1984; 橋詰ら 1986; 小田と岡本 1989; Browne et al. 2002)。Bohannon et al. (1984) は20-79歳の対象者に片足立ちを行い、片足立ち時間が30秒未満である相対的な

割合は50-59歳で6%であるが、60-69歳では57%、70-79歳で90%低下し、年齢と保持時間に有意な相関を認めると報告している。橋詰ら（1986）は、22-95歳の対象者に立位姿勢の重心動揺と開眼片足立ちを比較し、開眼片足立ちは60歳までは15秒以上が可能であるが、70歳代から15秒の保持が持困難となり、80歳代では約半数が5秒以下の保持時間であると報告している。1000人規模の高齢者を対象に片足立ちを測定した横断的研究でも、20歳代で55.7秒、30歳代で41.0秒、40歳代で34.9秒、50歳代で20.2秒、60歳代で8.3秒であり、加齢による低下を報告している（小田と岡本 1989）。

片足立ちの保持時間は女性が男性よりも短い（小田と岡本 1989；古名ら 1995；藤澤ら 2005）。小田と岡本（1989）は開眼片足立ち時間（最大60秒）では20歳代の男性で56.7秒、女性で55.7秒、60歳代の男性で17.8秒、女性で8.3秒であり、低下率は男女それぞれ69%と85%であると報告している。古名ら（1995）は2つの地域に在住する65-74歳と75歳以上を対象に開眼片足立ちを測定し、65-69歳の男性で48.4秒、女性で38.8秒、70-74歳の男性で37.4秒、女性で31.5秒であり、いずれの年齢でも女性は男性よりも有意に片足立ち保持時間が短いと報告している。藤澤ら（2005）は971人の在宅高齢者を対象に片足立ちを測定し、

男性の場合、70-74歳で21.0秒、75-79歳で17.3秒、80-84歳で11.2秒であるのに対して、女性では70-74歳で18.3秒、75-79歳で14.8秒、80-84歳で8.9秒であり、いずれの年齢群でも女性は男性よりも保持時間が短いと報告している。

加齢による片足立ちの低下は転倒および転倒不安と関連する (Hurvitz et al. 2000; Okada et al. 2001; Thomas & Lane 2005)。Hurvitz et al. (2000)は、転倒歴があると、片足立ち保持時間は9.6秒、非転倒者は31.3秒であり、全体の34.0%は45秒以上の保持が可能であったことから、30秒間片足立ちの可否が転倒予測に有用であるとしている。また転倒不安のある高齢者でも片足立ち保持時間が短いと報告されている (Okada et al. 2001)。Thomas & Lane (2005)は片足立ちの成績は虚弱な転倒者で0.43秒、非転倒者で2.71秒であり、虚弱な転倒経験者は有意に片足立ち保持時間の短縮が指摘されている。

以上より、片足立ちは信頼性が検証され、加齢、性差、転倒および転倒不安による妥当性が検証されたバランステストである。

③functional reach

functional reachは立位姿勢で足部を動かさずに、できるだけ前方に手を伸ばした際の到達距離を測定する (Duncan et al. 1990)。functional reachは

テストー再テストで0.81から0.92の相関があり (Duncan et al.1990; 1992)、信頼性があるといえる。functional reachは研究によって、静的バランス能力 (Shimada & Uchiyama 2003)あるいは動的バランス能力 (Seidler & Martin 1997)の評価指標として用いられている。

加齢によってfunctional reach の成績は低下する (Duncan et al. 1990; Weiner et al. 1992; 中村ら 2006; 對馬 ら 2006; Aslan et al. 2008)。Duncan et al. (1990)はfunctional reachの成績は20-40 歳の女性を100%にすると、41-69歳で94.6%、70-87歳で72.0%に低下すると報告している。中村ら (2006)は20-40歳の若者と61-85歳の地域高齢者のfunctional reachを比較し、37cmと28cmであり、高齢者では年齢と-0.59の負の相関を認めることから、加齢による低下を報告している。對馬ら (2006)の8-85歳を対象にfunctional reachを測定した横断的研究でも、40 歳代後半から低下を続け、50 歳代で33cm、60歳代で31cm、70 歳代以降は28cmまで低下するとし、functional reach と年齢の予測式を報告している。

functional reach の成績は、女性の方が男性より低下する (對馬ら 2006; Aslan et al. 2008)。對馬ら (2006) は男性で青壮年期をピークとして60 歳以

降に放物線上に低下するが、女性では青年期をピークとして直線的に低下することから、男性よりも女性で加齢による低下が大きいと報告している。Aslan et al. (2008) は50-75名の地域高齢者を対象にfunctional reach を測定し、50-64歳では男性で22.2cm、女性で20.9cm、65-75歳では男性で19.1cm、女性で16.3cmであり、女性の成績は男性より低いと報告している。

加齢によるfunctional reachの低下は転倒および転倒不安や生活機能と関連する (Duncan et al. 1992; 衣笠ら 2005; Aslan et al. 2008)。Aslan et al. (2008)は、転倒あり群と転倒なし群の成績はそれぞれ18.9cmと14.8cmであり、転倒あり群の方が有意にfunctional reachの成績が低下すると報告している。Duncan et al. (1992) は70歳以上の地域高齢者を対象にfunctional reachを測定し、1回の転倒者よりも複数回の転倒者でfunctional reachの成績は低下し、25.4cmを境界値とする場合の転倒の危険率は8.07倍であると報告している。この他に、functional reachの成績は老研式活動能力指標満点者と非満点者を分けることができると報告されている (衣笠ら 2005)。

以上より、functional reachは信頼性が検証され、加齢、転倒および転倒不安、生活機能による妥当性が検証されたバランステストである。

④ timed up and go

timed up and goは起立・歩行し、3m地点を回って、元の座位姿勢に戻るまでの時間を測定する (Podsiadlo & Richardson 1991)。

timed up and goはテスト－再テストで0.95から0.99の相関があり (Podsiadlo & Richardson 1991; Hughes et al. 1998; Shumway-Cook et al. 2000)、信頼性がある。

加齢によってtimed up and goの遂行時間は延長する (Steffen et al. 2002; 藤澤ら 2005; Aslan et al. 2008; 中谷ら 2008)。Steffen (2002)は65-89歳までの地域高齢者を対象にtimed up and goは、60-69歳で8.0秒、70-79歳で9.0秒、80-89歳で10.5秒であり、男女比を統制しても加齢による遂行時間の延長がみられると報告している。藤澤ら (2005)の70-84歳の在宅高齢者を対象にtimed up and goを測定し、70-74歳で10.3秒、75-79歳で11.5秒、80-84歳で13.2秒であり、遂行時間は延長すると報告している。中谷ら (2008)の60歳以上の在宅高齢者1317名を対象にした大規模な横断的研究でも、60-64歳を100%とした場合、70-74歳で10.0%、75-79歳で16.7%、80-89歳で17.2%であり、遂行時間は延長すると報告している。

timed up and goの遂行時間は、女性の方が男性よりも延長する（藤澤ら 2005；島田ら 2006a；Aslan et al. 2008）。藤澤ら（2005）は地域高齢者の男女を対象にtimed up and goを測定し、70-74歳で9.8秒と10.3秒、75-79歳で10.8秒と11.5秒、80-84歳で11.1秒と13.2秒であり、女性の方が遂行時間は延長すると報告している。同様の結果は、島田ら（2006a）による65-95歳の地域高齢者の男女を対象にした研究でも報告されている。

timed up and goの成績は転倒と関連する（Newton et al. 1997；Thomas et al. 2005；Whitney et al. 2005）。Newton et al.（1997）は61歳以上の地域高齢者251名を対象にtimed up and goを含めた5種類のバランステストと外出頻度および転倒不安の関連を重回帰分析を行ったところ、timed up and goが最も転倒不安と関連するテストであると報告している。Thomas et al.（2005）は65歳以上の高齢者30名を対象に、timed up and goは32.6秒を境界値とした場合に、転倒の危険率が11.5倍に増大すると報告している。Whitney et al.（2005）は、63-95歳の男女を対象にtimed up and goを含めたバランステスト、認知課題、等尺性膝伸展力と転倒との関係を重回帰分析で検討し、timed up and goが最も転倒予測に関係する項目であると報告している。

また、この他にtimed up and goは生活機能 (Podsiadlo & Richardson 1991) と関連する報告がある。Podsiadlo & Richardson (1991)は60-90 歳の高齢者を対象にtimed up and goを測定し、10秒未満ではすべて自立、20秒以内では大半は自立した生活が可能、30秒以上では大半で介助が必要であると報告している。

以上より、timed up and go は信頼性が検証され、加齢、転倒および転倒不安、生活機能による妥当性が検証されたバランステストである。

⑤ 歩行

歩行はテストー 再テストで0.75から0.89の相関があり(衣笠ら 1994; 杉浦ら1998)、信頼性の高いテストである。

歩行速度、歩幅、歩行率はいずれも加齢に伴って低下することが報告されている。(伊藤ら 1990; 衣笠ら 1994; 古名ら 1995; 金ら 2000 ; Steffen et al. 2002; 田井中ら 2004)。伊東 (1990)は、22-79歳の男性を対象に最大速度歩行と加齢の影響を明らかにし、歩行速度と-0.74、歩幅と-0.28、歩行率と-0.77といずれも年齢と負の相関があると報告している。Steffen et al. (2002)は地域

高齢者に通常速度および最大速度の歩行速度を測定し、女性の通常速度歩行の歩行速度は60-69歳で1.44m/s、70-79歳で1.33m/s、80-89歳で1.15m/s、最大速度歩行の歩行速度は60-69歳で1.87m/s、70-79歳で1.71m/s、80-89歳で1.59m/sであり、加齢による歩行速度の低下を報告している。また加齢による歩行速度、歩幅、歩行率の低下は横断的あるいは縦断的な研究でも明らかにされている(金ら 2000; 田井中ら 2004)。金ら (2000)は20-84歳の女性高齢者を対象に通常速度歩行を測定し、20-39歳を100%とすると、歩行速度は60歳代から低下し、60-69歳で15.1%、70-74歳で20.6%、75歳以上では29.3%低下し、歩幅では60-64歳で9%、70-74歳で17.5%、75歳以上では17.9%低下すると報告している。田井中ら (2004)は高齢者の歩行能力を2.5年間追跡調査し、通常速度で0.86m/sから0.79m/sに、最大歩行速度で1.22m/sから1.05m/sに低下し、低下率はそれぞれ11.1%と16.1%であり、いずれも有意な加齢による低下を報告している。

歩行に関する性差について、歩行速度、歩幅、歩行率は女性が男性よりも低値を示す(杉浦ら 1998; 藤澤ら 2005)。杉浦ら (1998)は4年間の歩行の追跡調査を行い、通常歩行は男性で4.8%、女性で5.2%、最大歩行は男性で8.4%、女性

で9.8%といずれも男性に比べて女性の低下率が大きいと報告している。藤澤ら(2005)は971人の在宅高齢者を対象に通常速度歩行および最大速度歩行を測定し、男性と女性の通常速度歩行は歩行速度で1.27m/s と1.19m/s、歩幅で0.64m と0.58m、歩行率で119.1steps/min と123.0steps/min であり、男女の相違を報告している。また最大速度歩行においても、男性と女性の歩行速度は1.68m/s と1.51m/s、歩幅で0.73m と0.63m、歩行率で137.5steps/minと142.5steps/min であり、通常速度歩行と同様の結果であると報告している。

加齢による歩行能力の低下は転倒および転倒不安とも関連することが報告されている (Maki 1997; Hausdorff et al. 2001)。Maki (1997)は高齢者の歩行と転倒の関連を明らかにし、転倒の危険率は歩幅の低下で2.0倍、歩行速度の低下で1.7倍にそれぞれ増大すると報告している。Hausdorff et al. (2001)は通院する高齢者42名を対象に、1年間の転倒経験の有無による歩行能力の比較を行い、転倒経験を有する高齢者は歩行速度および歩幅のバラつきが大きく、転倒の危険率は2.1倍から5.3倍に増加し、さらに転倒までの時間予測も6.0倍から9.5倍早く生じると報告している。

また、この他に歩行は生活機能と関連することが報告されている (Potter et al.

1995; 杉浦 1998; 田井中 2004; 島田 2006a)。Potter et al. (1995) は歩行と ADL の自立度の関係を明らかにし、通常速度歩行の速度で 0.25m/s 未満の高齢者で自立しているのは 36%であり、0.35-0.55m/s の高齢者は 72.1%が自立していると報告している。島田 (2006a)は通常歩行速度の低下が社会活動への参加と主観的な健康感を 7.8 倍と 20.9 倍低下させ、最大歩行速度の低下は趣味を 3.2 倍低下させると報告している。また最大速度歩行は 4 年後の死亡と ADL 低下の強い予測因子であるとしている (杉浦ら 1998)。地域高齢者の 2.5 年後の歩行能力を調査した別の縦断的な研究でも、通常速度歩行の歩行速度で 0.86m/s から 0.79m/s に、最大速度歩行の歩行速度で 1.22m/s から 1.05m/s に低下し、低下率はそれぞれ 11.14%と 16.07%であったと報告している (田井中ら 2004)。

以上より、歩行は信頼性が確認されており、加齢、性差、転倒および転倒不安、生活機能による妥当性が検証されたテストである。

⑥EquiTest

EquiTest は Nashner et al. (1976) によって開発されたコンピュータを用いたバランステストである。EquiTest では視覚の遮断を用いた静的な重心動揺を

評価するだけではなく、重心動揺と直接連動して前景板や床面を回転させるなどの視覚や体性感覚に外乱を加えることにより、立位姿勢の安定性を評価する。また、起立台を移動させる外乱時の応答潜時を評価することができる。

EquiTestはテスト-再テストで0.67から0.70の相関があり、信頼性の高いことが報告されている (Forth et al. 2007; Wrisley et al. 2007)。

加齢によって、高齢者では EquiTestの成績が低下する (Cohen et al. 1996; Camicioli et al. 1997; 猪飼ら 2002; Speers et al. 2002; Forth et al. 2007)。Cohen et al. (1996)は18-89歳の男女を年齢階級で4群に分類し、EquiTestによる感覚情報に外乱を与えた時の反応を測定した。その結果、45-69歳、70-79歳、80-89歳はいずれも18-44歳と比較してEquiTestの成績が加齢とともに低下し、EquiTest中の転倒率も、加齢とともに増加すると報告している。Camicioli et al. (1997)は66-102歳の高齢者を対象にEquiTestを用いて感覚情報に外乱を与えた時の姿勢応答を測定し、EquiTestの成績は年齢と0.46の有意な負の相関を認めることから、加齢による低下を報告している。猪飼ら (2002)は45-55歳の中年者と65-75歳の高齢者を対象にした外乱時の応答潜時が125.0msと132.0msであり、高齢者は中年者よりも応答潜時が遅延すると報告している。また、20-80歳

を対象にEquiTestによる感覚情報に外乱を与える課題を測定した横断的研究でも、EquiTestの成績はすべての課題で加齢変化がみられ、特に高齢者では視覚と体性感覚に外乱を与える課題で成績が低いと報告している (Forth et al. 2007)。

EquiTestの成績は転倒と関連することが報告されている (Judge1995;Vouriot 2004)。Judge et al. (1995)は80歳を対象に感覚情報に外乱を加える課題と転倒の関連を明らかにし、視覚あるいは体性感覚の単独に外乱を加える課題では転倒しないが、視覚と体性感覚の両者に外乱を加える課題では3.3倍から5.0倍以上に増大し、高齢者の感覚系と転倒の関連を指摘している。Vouriot et al. (2004)は台の後方外乱を与えた時の応答潜時は、転倒歴がないと130.9ms、転倒歴があると144.4msに応答潜時は遅延し、課題中の転倒回数は他のバランステストの結果と相関すると報告している。

以上より、EquiTestは信頼性が検証され、加齢、性差、転倒による妥当性が検証されているバランステストである。

⑦Berg balance scale

座位、立位の姿勢保持、立ちあがり動作などの代表的な日常性活動からなる14項目の課題に対し、それぞれに0-4点と得点化し、合計点で評価する (Berg et al. 1992)。Berg balance scale はテスト-再テストで0.92 から0.98の相関があり (Berg et al. 1992; Blum & Korner-Bitensky 2008)、信頼性があるテストである。

Berg balance scale の加齢変化を明らかにした報告は少ない (Newton 1997; 臼田ら1998; Steffen et al. 2002)。Newton (1997) は地域高齢者247名を対象にBerg balance scale を測定し、最頻値は53点であると報告している。臼田ら (1998) は60歳-85歳の地域在住高齢者71名を対象にBerg balance scale を用いて加齢変化を明らかにした。その結果、60-64歳で55.7点、65-69歳で55.7点、70-74歳で55.0点、75-79歳で53.4点、80-85歳で53.2点であり、75歳以降から有意に低下すると報告している。Steffen et al. (2002) は60-89歳の地域在住高齢者を対象にBerg balance scale を測定し、60-69歳で55点、70-79歳で54点、80-89歳で52点であり、加齢によって低下傾向にあると報告している。

これらのことより、Berg balance scale は加齢変化のみられるテストであるが、地域在住高齢者では満点に近いので、個人差を反映するテストとは言えない。

Berg balance scale の性差について、Steffen et al. (2002) は 60-89 歳の高齢者の男女を測定し、男性と女性は 60-69 歳でいずれも 55 点、70-79 歳で 54 点と 53 点、80-89 歳で 52 点と 51 点であり、女性の方がわずかに低いと報告している。一方、95-103 歳の男女を対象にした Von Heideken et al. (2009) の報告では、全体的に年齢階級別の合計点は平均 45 点であり、男性よりも女性で加齢による低下率は大きいと報告している。

このように、Berg balance scale は性差を明確に見分けることができるテストである。

Berg balance scale は転倒および転倒不安と関連する報告が多い (Bogle Thorbahn & Newton 1996; Shumway-Cook et al. 1997; Muir et al. 2008)。Bogle Thorbahn & Newton (1996) は 69-94 歳の施設入所者を対象に Berg balance scale と転倒回数との関連を明らかにし、45 点未満になると転倒者の割合が有意に増加すると報告している。同様の結果は、1000 人規模の標本から前向きに行った研

究でも報告されている。Muir et al. (2008)は高齢者をテスト結果で 4 群に分類し、1 年間の転倒回数を追跡調査した。その結果、転倒者および転倒回数は 45 点を境界値にして、いずれも有意に増加するとしている。Shumway-Cook et al. (1997) は地域在住の高齢者を対象に Berg balance scale を測定し、54-56 点の範囲で 1 点下がるごとに転倒危険は 3-4%上昇し、46-54 点の範囲で 1 点下がるごとに転倒危険は 6-8%上昇すると報告している。またこの他に、Berg balance scale は生活機能(Bogle Thorbahn & Newton 1996) や移動能力(Berg et al. 1992) と関連する報告がある。

以上より、Berg balance scale は信頼性と、加齢、転倒および転倒不安による妥当性が検証されたバランステストである。但し、地域在住の高齢者よりも施設入所者に適用できるテストであるといえる。

⑧Performance-oriented mobility assessment

バランス項目(16点)と歩行項目(12点)で構成され、動作時の安全性や安定性の程度により、0-1点、または2点と得点化し、合計点を用いる (Tinetti 1986a)。

Performance-oriented mobility assessment はテスト-再テストで 0.96 から

0.97 の相関があり (Tinetti 1986a; Mecagni et al. 2000)、信頼性があるといえる。本テストは Berg balance scale と比較し、わが国であまり用いられていない現状にある (Raiche 2000; Morita et al 2001; Lin 2004)。

Performance-oriented mobility assessment の加齢変化や性差を明らかにした研究は数少ない。Manckoundia et al. (2008) は高齢者の Performance-oriented mobility assessment と年齢の関係を 2 年間追跡調査した。その結果、65 歳の合計点を基準にした場合、65-70 歳では 2.7 倍、70 歳以上では 5.2 倍に低下すると報告している。また、この報告によれば、女性は男性よりも得点が 3.7 倍低下しやすいと報告している。Performance-oriented mobility assessment は転倒および転倒不安と関連する (Tinetti et al 1986b; Tinetti & Ginter 1988; Di Fabio & Seay 1997)。Tinetti & Ginter (1988) は虚弱高齢者を対象に Performance-oriented mobility assessment の合計点と転倒危険の関連を明らかにし、19 点未満は転倒の危険が極めて高く、19-24 点の範囲は中等度の転倒危険があると報告している。Tinetti et al. (1986b) は虚弱高齢者を対象に Performance-oriented mobility assessment の下位項目と転倒の関連を明らかにし、転倒危険が高まる境界値はバランス項目で 10 点、歩行項目は 9 点である

と報告している。Di Fabio & Seay (1997)は60-92歳の虚弱高齢者を対象に Performance-oriented mobility assessment と転倒不安の関連を明らかにし、テストの合計点は転倒不安と-0.69の負の相関を認めると報告している。この他に、Performance-oriented mobility assessment は移動能力(Tinetti & Ginter 1988) や筋力 (Di Fabio & Seay 1997)との関連も報告されている。

以上より、Performance-oriented mobility assessment は信頼性と妥当性が検証されたバランステストであるが、我が国ではあまり使用されていないテストである。また対象は虚弱高齢者や疾患を有した者が多いテストである。

⑧継ぎ足歩行

継ぎ足歩行は床面に引いた直線上を一側の爪先に対側の踵を接触させながら歩行する。継ぎ足歩行の評価には2つの方法がある。第1の方法は一定距離、あるいは一定歩数の継ぎ足歩行の可否により評価する。例えば、4歩の継ぎ足歩行の可否により評価する方法 (Dargent et al. 1996; 岡田ら 2001)、あるいは2.5mの継ぎ足歩行に要した歩数により評価する方法がある (Fregly et al. 1973; 上岡ら 2001)。第2の方法は、一定距離の所要時間や直線上から逸脱し

た数により評価する。例えば、2m や約 6.1m の継ぎ足歩行の所要時間 (Kerschman-Schindl et al. 2001; Nelson et al. 2004)、逸脱の数や有無 (Liu et al. 2005; Speers et al. 1998) により評価する。この他に平均台上で継ぎ足歩行を行う方法がある (北畑ら 2003)。

このように、継ぎ足歩行を評価する場合、評価方法は複数あり、評価方法の信頼性を検討した研究は少ない (下井と谷 2008)。

継ぎ足歩行は加齢によって低下する (Fregly et al. 1973; Speers et al. 1998; Schragger et al. 2008)。Fregly et al. (1973)は 16-60 歳 1000 人を対象に継ぎ足歩行に要する歩数を計測し、年齢と 0.3 の負の相関を認めると報告している。Speers et al. (1998)は、若年者と高齢者を対象に継ぎ足歩行に要する歩数と完遂率を比較した。この研究では歩行路の幅を 15cm から 2.5cm まで 2.5cm 刻み、歩行様式を制約なし条件とつま先一踵接地をする制約あり条件、歩行路の長さを 4.9m と 2.5m、開眼および閉眼の条件を組み合わせる詳細に測定している。その結果、高齢者は若年者よりも歩数は多く、歩行路の幅に対する歩数の変化も高齢者で大きい。完遂率は若年者と変わらないことから、継ぎ足歩行は遂行の可否で評価すべきであると結論づけている。Schragger et al.

(2008)は 54-92 歳の高齢者を対象に継ぎ足歩行を行い、動作解析装置を用いて歩幅、歩行速度、歩隔、重心位置を解析した。その結果、歩行速度、歩幅、重心の動揺速度、重心の動揺範囲は加齢によっていずれも有意に低下すると報告している。

継ぎ足歩行は転倒と関連が報告されている (Berkman et al. 1993; 浅井ら 2007)。浅井ら (2007)は過去 1 年間の転倒経験で非転倒群と転倒群に分類して比較したところ、10m の歩数は非転倒群で 8.1 歩、転倒群で 5.1 歩と有意に少ないと報告している。Berkman et al. (1993)は高齢者を生活機能の水準から 3 群に分類し、通常速度の継ぎ足歩行に要する歩数を測定した。その結果、高生活機能群で 7.4 歩、中生活機能群で 5.9 歩、低生活機能群で 5.0 歩であり、生活機能が低い高齢者で有意な歩数の減少を報告している。

以上より、継ぎ足歩行は加齢、転倒、生活機能による妥当性が検証されたテストである。しかしながら、現在までに統一された評価方法や信頼性の検証は行われていないテストである。

⑨最大一步幅

最大一步幅は両脚を揃えた立位姿勢から最大努力で片方の脚を前に踏み出し

た時の最大到達距離を測定するテストであり（武藤 1997）、わが国を中心に用いられている（武藤 1997；岡田ら 2001；古西ら 2002；上岡ら 2003）。この他に、多方向に対する最大歩幅（Cho et al. 2004）や最大歩幅の自己予測値と実測値との誤差（村田ら 2005）で測定する方法も存在する。

最大歩幅は加齢による低下が報告されている（岡田ら 2001；古西ら 2003）。岡田ら（2001）は地域在住の高齢者 572 名を対象に最大歩幅を測定し、65-69 歳で 97.2cm、70-74 歳で 93.1cm、75-79 歳で 84.0cm、85 歳以上で 67.3cm と加齢による低下を報告している。古西ら（2003）は地域在住の高齢者 136 名を対象に最大歩幅を測定し、60-64 歳で 99.3cm、65-69 歳で 98.9cm、70-74 歳で 87.4cm、75-84 歳で 85.3cm であり、年齢と -0.43 の負の相関を認めると報告している。

最大歩幅の性差について、男性と女性は 65-69 歳で 111.7cm と 97.2cm、70-74 歳で 107.6cm と 93.1cm、75-79 歳で 99.6cm と 84.0cm、85 歳以上で 77.9cm と 67.3cm であり、男性が女性よりも全体的に大きいと報告している（岡田ら 2001）。これらのことより、おおよそ 75 歳以上から低下し、男性が女性よりも最大歩幅は大きい。

最大一歩幅は転倒と関連する報告がある（上岡ら 2003; Cho et al. 2004）。上岡ら（2003）は転倒恐怖感の有無で最大一歩幅を比較し、恐怖あり群で 112.4cm、恐怖なし群で 120.0cm であり、転倒恐怖のある高齢者は最大一歩幅が有意に低いと報告している。Cho et al.（2004）は最大一歩幅と転倒危険の関連を明らかにし、最大一歩幅の低下は転倒危険を 1.48 倍増大させると報告している。またこの他に、最大一歩幅は生活機能と関連する報告がある（上岡ら 2003; Cho et al. 2004）。

以上より、最大一歩幅は加齢、転倒、生活機能による妥当性が検証されたバランステストであるといえる。しかしながら、海外における報告はなく、わが国のみで主に用いられているテストであるといえる。

先行研究の知見から、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestは加齢変化を評価することができ、かつ、転倒や転倒不安との関連、生活機能や日常生活活動と関連が検証されたテストであることが確認できた。しかしながら、Berg balance scaleとPerformance-oriented mobility assessmentは信頼性と妥当性が検証されているが、虚弱高齢者や疾患を有した者を対象に用いられている。継ぎ足歩行は加齢や転倒および転倒不安、生活機

能による妥当性が検証されているが、統一された測定方法が未だ確立されていない。最大一步幅は加齢や転倒および転倒不安、生活機能による妥当性が検証されているが、調べる限り信頼性の検証を行なった研究は見当たらない。

第2項 バランス能力及び転倒に関する運動介入の効果

バランス能力を改善させる運動介入で用いられる方法は、バランス運動 (Seidler & Martin 1997; Shimada & Uchiyama 2003a; 島田と内山 2003)、筋力強化 (Wolfson et al. 1996)、有酸素運動や柔軟体操 (Shigematsu et al. 2002) である。これらを複合した運動介入でバランス能力が改善する報告が多い (Harada et al. 1995; Lord et al. 1995; Province et al. 1995; Shumway-Cook et al. 1997; Campbell et al. 1999)。

一方、高齢者の転倒による傷害を減少させるための運動介入の効果について、Province et al. (1995) による米国の8つの地域で異なる運動の介入効果を比較した研究プロジェクト (Functional research and Injuries: Cooperative studies of intervention techniques; FICSIT) がある。この研究によれば、運動の間接的な効果を加味した場合は、複合的な運動で最も転倒予防の効果があ

るが、直接的な効果で転倒予防に効果のある運動は、有酸素運動や筋力づくり運動ではなく、バランス運動のみであると報告している。

このように、運動介入は転倒予防に効果があり、バランス運動はその中でも介入効果が高い。

転倒予防のバランス運動には、リーチや片足立ち (Seidler & Martin 1997; 島田と内山 2003; Islam et al. 2004)、太極拳 (Wolfson et al. 1996; Wolf et al. 1997; Li et al. 2005)、バランスボール (中谷ら 2001; 平井ら 2004)、外乱刺激装置 (Hu & Woollacott 1994; 大淵ら 2004)が用いられている。

バランス運動によって、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestはいずれも改善する (Wolfson et al. 1996; Seidler & Martin 1997; Shimada & Uchiyama 2003a; 島田と内山 2003; 大淵ら 2004)。

Li et al. (2005)は70歳以上の高齢者を対象に無作為化比較試験による6ヶ月間の太極拳による介入効果を明らかにし、介入群で片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行および転倒不安が改善し、1年後でも介入群は対照群よりもバランス能力が維持されると報告している。Wolfson et al. (1996)は75歳以上の高齢者をバランス運動群、筋力強化群、バランス運動+筋力強化群、対照

群の4群に無作為に分けて3ヶ月間の介入効果を比較したところ、バランス運動群およびバランス運動+筋力強化群は対照群よりも重心動揺、片足立ち、EquiTestの成績が有意に改善すると報告している。Wolf et al. (1997)は70歳以上の高齢者を対象にバランス運動群、有酸素運動群、太極拳群の3群に分けて15週間の運動介入を行い、バランス運動群で重心動揺が改善し、太極拳は重心動揺に加えて転倒不安も改善すると報告している。

運動介入でバランス能力が改善する理由として、筋力の改善 (Lord et al. 1995; 1996)、主動筋と拮抗筋における同時筋活動の減少 (Gatts & Woollacott 2005)、筋反応時間の短縮 (Lord et al. 1995; Gatts & Woollacott 2005)、感覚器官の補完機能の改善 (Li & Woollacott 1994; Seidler & Martin 1997)、転倒恐怖感の軽減 (Li et al. 2005)、身体活動量の増加 (Binder et al. 1994)が挙げられている。

一方、バランス能力は運動介入によって改善しない報告もある (Hu & Woollacott 1994; Seidler & Martin 1997; Wolf et al. 1997; Shimada 2003a; 2003b; 島田と内山 2003;大淵ら 2004)。Seidler & Martin (1997)は転倒経験群、非転倒群、対照群を無作為に分けて5週間のバランス運動を行い、介入後の

バランステストは転倒経験群と非転倒群の重心動揺速度および面積で有意に改善したが、片足立ちは改善しなかったと報告している。Shimada et al. (2003b) は80歳以上を対象に不安定板上の立位保持、前方へのリーチ、タンDEM肢位を用いたバランス運動群では、片足立ちやfunctional reach、バランス課題の総合得点が改善し、歩行を用いたバランス運動ではtimed up and go、バランス課題の総合得点が改善すると報告している。大淵ら(2004)は、高齢者に1ヶ月間の転倒刺激付きトレッドミルを用いたバランス運動の介入効果を明らかにし、通常トレッドミル運動ではtime up and goのみが改善するが、外乱刺激を加えることでfunctional reach、timed up and go、外乱応答の潜時が改善し、外乱刺激課題の有効性を報告している。

運動介入でバランス能力が改善しない理由として、低い出席率 (Li et al. 2005)、少ない標本数 (Binder et al. 1994)、対象者の相違 (Wolf et al. 1997)、対照群のテストに対する学習効果 (Seidler & Martin 1997)、バランス能力の改善に鋭敏で無いテストの選択 (Seidler & Martin 1997)、生理的な加齢に対する運動介入の限界 (Lord et al. 1995) を挙げられている。

バランス運動によるバランス能力以外の改善効果として、転倒不安の減少 (Shumway-Cook et al. 1997)、生活機能の向上 (Binder et al. 1994)が報告されている。また、運動介入による介入効果はバランス運動の継続によって維持できるが (Wolfson et al. 1996; Campbell et al. 1999)、運動を継続しなければ介入の終了後に低下することが明らかとなっている (Campbell et al. 1997; 大淵ら 2004)。

以上より、バランス運動は運動内容の中で最もバランス能力を改善させる効果が高く、用いられたバランステストは静止立位姿勢の保持、随意運動時の立位姿勢の保持、外乱時の立位姿勢応答であった。

しかしながら、これらのバランステストをすべて網羅し、運動介入の効果を検証した研究は少ないといえる。

第3節 バランス能力の評価に関する理論的な背景

Horak (1997)はバランス能力に影響する要因として、視覚、体性感覚、前庭に代表される感覚統合システム、外乱や随意的な運動を行った時の姿勢戦略に

代表される運動協調システム、動作中の関節角度や筋力、姿勢に代表される運動力学システムの3つが立位姿勢の保持に重要であると提唱している。

加齢によって視覚、体性感覚、前庭の感覚機能はいずれも低下する (Johnson & Hawkins 1972; Prakash & Stern 1974; Spooner et al. 1980; Stelmach & Worringham 1985; Pyykko et al. 1988; Wade & Lindquist 1995)。視覚では加齢による角膜や水晶体の屈折力の変化、視細胞の受容能の減退 (Hirsh 1959)が生じる。また開眼よりも閉眼で身体動揺は増大し (橋詰ら 1986; Sheldon 1963)、さらに眼の開閉に限らず、視覚流動を用いた実験でも、高齢者では錯覚による重心動揺は増加する (O'Connor et al 2008; Wade & Lindquist 1995)。関節位置覚では65歳以上で低下し (Stelmach & Worringham 1985)、神経疾患を有しない高齢者でも体性感覚を反映する足部の振動覚が30-50%低下する (Prakash & Stern 1974)。また前庭では有毛細胞数の減少 (Johnson & Hawkins 1972)や神経線維数の減少 (Bergstrom 1973)が報告されている。

Pyykko et al. (1988)は、6歳から88歳を対象に、静止立位時における振動覚、圧覚、視覚の加齢変化を横断的に調査した。その結果、振動覚や圧感覚は20歳

代から緩徐に低下するのに対し、視覚は60歳以降で急激に低下することから、高齢者では視覚に依存した姿勢制御、若年者では体性感覚に依存した姿勢制御を行っていると報告している。この他に、若年者では1つの感覚における正確性の低下がみられても、他の2つの感覚入力によって立位姿勢は損なわれないような感覚の補完機能がある (Horak & Moore 1989; Teasdale et al. 1992; Wolfson et al. 1992)。しかし高齢者の場合、個々の感覚器官機能は低下し、視覚、体性感覚のいずれか1つの感覚情報が制限された場合でもバランス能力の低下が確認されている (Sheldon 1963; Overstall et al. 1977; MacChesney & Woollacott 2000; Du Pasquier et al. 2003)。例えば、感覚情報に外乱を与える課題を用いて若年者と健常高齢者を比較したところ、視覚と体性感覚情報の両方に外乱刺激を加える課題では、高齢者だけではなく若年者でも転倒するが、視覚や体性感覚情報のいずれか1つを制限した状況では、高齢者のみ転倒すると報告している (Teasdale et al; 1992; Wolfson et al. 1992)。

このように、立位姿勢制御に関与する感覚器官機能は加齢によっていずれも低下する。体性感覚の低下は緩徐であるが、視覚よりも早く低下する。一方、

視覚は60歳以降から急激に低下するが、高齢者では視覚に依存した姿勢制御を行っているといえる。

一方、高齢者の場合、若年者と異なる筋活動や姿勢制御が報告されている (Woollacott et al. 1988; 山本ら 1992; Maki & Ostrovski 1993; Shepard et al. 1993)。Shepard et al. (1993)は、若年者と高齢者を対象に外乱時の応答潜時を比較し、前後方向や移動速度に関係なく高齢者の応答潜時は有意に遅延すると報告している。Maki & Ostrovski (1993)は、若年者と高齢者を対象に起立台の水平移動時における前脛骨筋と腓腹筋の同時収縮時の筋活動を比較し、高齢者では下肢筋を同時収縮させて関節を固定させる姿勢制御を行なっていると報告している。Woollacott et al. (1988)は健常成人では外乱時に足関節中心の姿勢制御であるが、高齢者では股関節中心の制御であると報告している。山本ら (1992)は、高齢者と若年者の前後方向に水平移動させる外乱刺激を加えた時の床反力の応答波形を比較し、高齢者の場合、前後方向では重心動揺が刺激終了後も収束せずに残存すると報告している。

さらに、高齢者では外乱に対する応答姿勢や動作時の関節角度における相違がある (Alexander et al. 1992; Cavanaugh et al. 1999; Speers et al. 2002)。

Alexander et al. (1992)は高齢者と若年者を対象に起立台の前後方向に移動させた時の身体動揺について運動学的に比較した結果、高齢者は体幹と大腿の開始時間が遅く、動揺に伴う身体部位の変位は高齢者で増加すると報告している。Cavanaugh et al. (1999)は若年者と高齢者のfunctional reachを運動的に比較した結果、高齢者では体幹の胸腰椎の回旋、腰椎の屈曲および側屈が有意に低下すると報告している。Speers et al. (2002)は視覚や体性感覚、または両者に外乱を与えた時の姿勢応答を若年者と高齢者で比較したところ、高齢者では股関節と足関節の関節角度の角度変化が大きく、両者を合成した関節角度でも有意に大きいと報告している。

このように、応答潜時の遅延や主動筋と拮抗筋の同時収縮による関節固定、関節角度の変化など、姿勢応答の変化が高齢者のバランス能力の低下に寄与している。

第4節 バランス能力と転倒の関連

第1項 転倒の発生頻度および性差

転倒の発生は加齢とともに増加し、転倒に伴う骨折の発生率も増加する（鈴

木 2006)。65 歳以上の高齢者における転倒の年間発生率は 10-20%であり、そのうちの 20%は骨折に至る（安村 1994；新野ら 1995）。転倒は躓きや滑りによって多く発生していると報告されている（Berg et al. 1997；鳥羽ら 2005）。Berg et al.（1997）は 60-88 歳の 96 名を対象に 1 年間における転倒の発生状況を調査し、躓き（34%）や滑り（25%）であり、いずれも移動場面が多い（48%）と報告している。鳥羽ら（2005）の全国 2,439 名の高齢者を対象にした横断的研究でも、躓きが全体の 27%を説明し、転倒の危険率が 4.27 倍と最も高いと報告している。

転倒発生率の性差では男性よりも女性が多い（芳賀 1997；加納 1997；鈴木 2006；植木ら 2003）。植木ら（2003）は、地域在住の高齢者を対象に1年間の転倒発生率と心身機能を縦断的に調査し、初回調査時は男性で21.0%、女性で27.1%、1年後の調査時は男性で22.8%、女性で25.7%といずれも女性の方が高いと報告している。約2,000名の75歳以上の地域在住の高齢者を対象とした1年間の転倒の実態調査でも、男性と女性は15.5%と19.9%であり、年齢階級ごとの比較でも女性は男性よりも有意に多いと報告している（鈴木 2006）。

第2項 転倒とバランス能力

バランス能力は転倒の予測因子であるとの報告が多い (Rubeinstein et al. 1988; Graafmans et al. 1996; Rubeinstein & Josephson; 2002; Stalenhoef et al. 2002)。

要介護の身体的要因に着目した疫学的研究によれば、バランス能力障害は第2位に位置し、相対的な危険率は2.6倍から2.9倍、再転倒の危険率は5.0倍に増大する (Graafmans et al. 1996; Rubenstein & Hosephson 2002)。Stalenhoef et al. (2002)は再転倒と関連の強い予測因子を明らかにし、性、年齢、転倒回数、精神機能、筋力、バランス能力のうち、バランス能力が3.9倍と最も強い因子であると報告している。

バランス能力の低下は、たとえ転倒を生じない場合でも転倒に対する恐怖や不安を生じるとの報告があり (Vellas et al. 1997; Legters et al. 2002; Binda et al. 2003; Hauck et al. 2008)、転倒不安はさらにバランス能力を低下させ (Hausdorff et al. 1997; Binda et al. 2003)、日常生活活動や社会活動を著しく低下させる (Vellas et al. 1997; Tinetti & Williams 1998)。

以上より、高齢者の転倒は躓きや滑りの状況で多く発生し、男性よりも女性

が多い。また転倒に伴う骨折やその後の転倒不安が高齢者の生活機能を著しく低下させることから、最も関連のある予測因子であるバランス能力の研究が急務であるといえる。

第3章 研究課題

高齢者の転倒による骨折は身体活動量を減少させ、要介護に至らせる。転倒による骨折がない場合でも、転倒不安から生じる身体活動を制限させ、ひいては要介護に至らせる。このように、転倒は高齢者の健康を阻害し、自立生活を困難にさせるといえる。

転倒を予防するための研究が数多く行われており、転倒を生じさせる主な要因であるバランス能力が注目されている。バランス能力は立位姿勢の静的な保持だけではなく、書棚の本を取るなど立位姿勢の保持と同時に目的動作の遂行、歩行など、日常生活の多様な場面で用いられている。従来のバランス能力に関する研究では、対象が高齢者の中でも施設入所や虚弱が多く、自立した生活を送っている地域在住は少ない。このために、地域在住高齢者を特徴づけるバランス能力は明らかにされていない現状がある。特に、転倒は男性よりも女性で多く発生していることから女性を対象とすることが肝要といえる。

地域在住の女性高齢者の転倒による要介護を予防するためには、高齢者のバランス能力を包括的な評価だけではなく、若年者と高齢者のバランス能力の相

違から加齢に伴うバランス能力の低下を把握する必要がある。しかしながら、バランス能力を評価する研究が数多く行われているが、以下のような問題点がある。

第1節 問題点

第1項 バランス能力の因子構造に関する問題点

バランス能力には静的バランス能力、動的バランス能力の存在が示唆されている。すなわち、バランス能力は静的バランス能力、動的バランス能力の下位構造を持ち、これらをバランス能力の因子構造といえる。従来の研究によると、静止した立位姿勢を保持する能力を静的バランス能力、身体を随意的に移動させた時の立位姿勢を保持する能力を動的バランス能力と定義している。

しかしながら、数多くのバランステストからバランス能力を実証的に分類した研究は少ない。このために、片足立ちは静的バランス能力を評価すると主張する研究がある一方、片足立ちは動的バランス能力を評価すると主張する研究がある。同様のことは functional reach でもみられる。このように、一つのバ

ランステストが研究者によって静的バランス能力、あるいは動的バランス能力に分類されている。また、近年では起立台の移動あるいは徒手で背中を押すなど外乱を用いて立位姿勢を保持する能力を評価するテストが開発されている(Nashner 1976; Whipple & Wolfson 1990; Okada et al. 2001)。これらのテストが静的バランス能力と動的バランス能力のいずれを反映するか、あるいは独立した新たなバランス能力を反映するかは不明である。

以上のように、多くのバランステストを用いて、バランス能力を実証的な分類にもとづく包括的な評価がおこなわれていない、すなわち、バランス能力の因子構造が明らかにされていない問題がある。

第2項 バランス能力の因子構造における加齢変化に関する問題点

個々のバランス能力の加齢による低下は報告されているが、全体像であるバランス能力の因子構造における加齢の特徴は明らかではない。バランス能力の因子構造における加齢の特徴を明らかにするためには、若年者および高齢者のバランス能力における共通した因子構造を明らかにし、若年者および高齢者のバランス能力を特徴づける因子の把握が必要である。すなわち、従来の考えに

従えば、静的バランス能力、動的バランス能力のいずれが若年者あるいは高齢者のバランス能力の特徴であることが明らかではない。バランス能力の因子構造における加齢の特徴が明らかになると、バランス能力低下の機序の一端が解明できる可能性がある。

第3項 運動介入がバランス能力の因子構造に及ぼす影響に関する問題点

転倒予防の運動介入研究において、太極拳、片足立ち、継ぎ足歩行などが用いられ、バランス能力を改善させる効果が確認されている。しかし、従来の運動介入研究で用いられたバランス能力を評価するテスト項目は少ない。このために、先行研究で用いられたバランステストは静的バランス能力のみ、あるいは動的バランス能力のみを評価するなどの偏りがあるといえる。すなわち、バランス能力の因子構造にもとづいた適正な評価がなされていないといえる。従来の考えに従えば、運動介入によって静的バランス能力、動的バランス能力いずれが改善されるかは不明である。

第2節 研究課題の設定

本研究における研究課題を図3に示した。

研究課題1-1は、若年者と高齢者のバランス能力の因子構造を明らかにするために、数多くのバランステストの中で信頼性と妥当性が検証されたバランステストを用いる。

研究課題1-2は、バランス能力の因子構造における加齢の特徴を明らかにする。

研究課題2は、運動介入が高齢者のバランス能力の因子構造に及ぼす効果を明らかにする。

第3節 研究の意義

研究課題1-1において、バランス能力の因子構造を明らかにすることにより、若年者および高齢者のバランス能力の適正な評価が可能になるだけでなく、包括的なバランス能力の評価が可能になる。

研究課題 1-2 において、バランス能力の因子構造における加齢の特徴を明らかにすることにより、若年者と高齢者それぞれのバランス能力を特徴づけることができる。すなわち、若年者、高齢者それぞれの個人差を反映するバランス能力が明らかになる。

研究課題 2 において、バランス運動を用いた介入によって高齢者のバランス能力の因子構造に基づいたバランス能力の改善効果を明らかにすることができる。これにより、将来のバランス運動の内容を改善させることができるだけではなく、転倒予防の効果が期待できる。

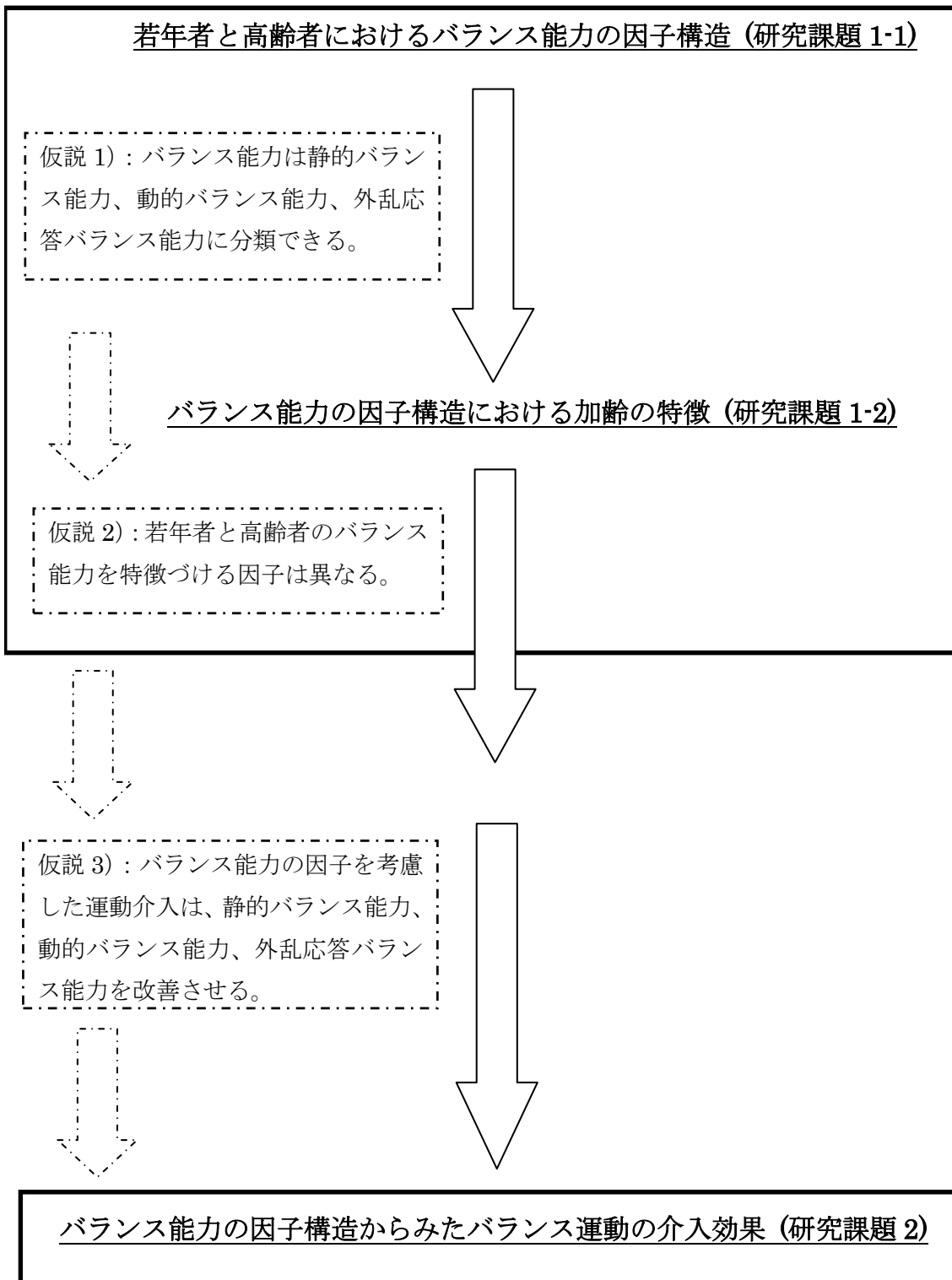


図 3. 本研究における研究課題

第4節 用語の定義

バランス能力 (Balance ability)

立位姿勢で、身体重心を支持基底面内に安定させる能力である (Murray et al. 1975)。支持基底面は立位時の足底面と両足間部分を合計した面積を言う。立位姿勢の安定性に影響を及ぼす要因には、重心の高さ、支持基底面の広さ、重心垂線が支持基底面に落ちる位置、質量の大きさなどがある (中村ら 2003)。なお、本研究のバランス能力は自転車に乗るなど、道具を用いた場合のバランス能力を除く。

重心動揺 (Body sway)

重心は身体質量の中心であり、体位と身体分節による運動によって変化する (Murray et al. 1975)。重心の動揺は体幹や股関節、頭部の変化などすべての慣性力と随意的な筋活動の結果として生じる関節回りのトルクの合計として、足圧の変化に反映される (Terekov 1978)。重心の動揺を測定する方法は、足圧中心の変化を重心の変化として仮定する

方法が一般的であり、主にフォースプレートを用いる。重心動揺の代表的な測定値として、軌跡長と外周面積が用いられている。軌跡長は、測定時間中における足圧中心の移動距離を示す。外周面積は、軌跡長によって囲まれた面積を示す。

歩行(Walking)

歩行は立位姿勢を維持させながら、足底と地面との摩擦により、身体を推進させる運動である。歩行に必要な力学的要素として、抗重力、バランス保持、足の踏み出しの3要素(Dimitrijevic & Larsson 1981)、あるいは平衡および移動の2要素がある(Nutts et al. 1993)。また運動学的要素としては、左右の下肢が交互に支点となり、重心の位置が上下、左右に動揺する(Viton et al. 2000)。いわば、歩行は立位姿勢を保持しながら、接地した足底を中心とする支持基底面内に重心を移動・保持を反復する動作であるために、本研究ではバランステストの一つとして用いる。歩行に類似したバランステストとして、timed up and go、継ぎ足歩行がある。

EquiTest

Nashner (1976)によって開発されたバランステストの一つである。視覚を遮蔽したり、身体動揺と直接連動して前景板や床面を回転させて、視覚と体性感覚の情報を制限する外乱を加えた時の姿勢応答や、台を移動させる外乱を加えた時の応答潜時を定量的に評価することができる。テストの種類は身体動揺と同期させて前景や床面を可動させる感覚統合機能テスト、床面を水平移動させて身体動揺を引き起こす運動協調テスト、床面の傾斜を繰り返す適応テストの3種類がある。

高齢者(Older adults)

65歳以上の者とする。国際的に定年退職者のほとんどの年齢が65歳以上であることに基づく(WHO 1984)。高齢者は、居住している場所により分類されることがある。たとえば、地域に在住する者を地域在住高齢者と言い、それに対して入院、又は高齢者用施設(特別養護老人ホーム)に入所している者を入所高齢者という。また、高齢者の年齢により、前期高齢者(65歳から74歳)と後期高齢者(75歳から89歳)、超高齢者(90

歳以上)に分けることがある。

筋力 (Muscle strength)

筋力は測定する筋が収縮した時の関節張力である。収縮様式によって等尺性収縮、等張性収縮、等速性収縮がある。さらに、等張性収縮には負荷や抵抗に打ち勝って筋長が短くなる短縮性収縮と、筋長が長くなる伸張性収縮がある。さらに、等速度で収縮する等速性収縮がある。筋力の評価指標には、kg だけではなく、トルク (Nm) が用いられている。

因子分析 (Factor analysis)

因子分析は、実際に測定した変数 (観測変数) の多変量データから、いくつかの実際に観測できない潜在的な変数 (共通因子) を推定する外的基準のない統計学的手法である。特徴として、観測変数間の相関行列をもとに、それらの相関関係を規定している共通因子を抽出する点が挙げられる。モデル構成は、ある項目の観測変数を共通因子に基づく特性の値 (共通性) と、その項目独自の特性 (独自性) から構成されていると仮

定する。共通因子の解釈は、因子軸の回転後に行い、大きく分けて因子間相関を仮定しない直交回転(バリマックス)と因子間相関を仮定する斜交回転(プロマックス)がある。

共分散構造分析(Covariance structure analysis)

共分散構造分析は、構成概念や実際に測定した変数(観測変数)の性質を調べるために集めた多くの観測変数を同時に分析するための統計手法である。従来の多変量解析(回帰分析、因子分析など)と比較して、いくつかの長所がある。最大の長所はモデル構成の自由度が高いことである。従来の多変量解析には、モデルを構成する余地がほとんどなく、固定化した既製のモデルにデータを当てはめて解釈を行うものであった。一方、共分散構造モデルでは、収集したデータあるいは因果モデルの性質に応じて、自らの仮説に基づいて構成概念間の関係を表すモデルを構成することができる。パス解析などの重回帰分析では観測変数だけでモデルを立てるが、共分散構造分析では実際に測定していない変数(潜在変数)をモデルの中に入れることができる。

転倒 (Fall)

転倒は、立位姿勢から地面またはより低い位置に身体が止まる状態である (Tinetti & Powell 1993)。高齢者の場合、転倒は在宅・入院にかかわらず、打撲や骨折などの外傷が「寝たきり」の原因となる場合があるために重要視されている。また、転倒の経験によってその後の再転倒への不安感・恐怖感が生じることを転倒恐怖感 (Tinetti 1993) と呼び、転倒が契機となって転倒恐怖感や不活動、あるいは廃用症候群になることを転倒後遺症候群と呼ぶ (江藤 1984)。

生活機能 (Functional capacity)

生活機能は地域社会で自立した生活を円滑に遂行する機能である。生活機能には買い物に行くなどの身体的機能、新聞を読むなどの知的機能、友人を訪ねるなどの社会的機能などが含まれる。生活機能を評価するテストの一つに、老研式活動能力指標がある。

第4章 若年者と高齢者におけるバランス能力の因子構造

(研究課題 1-1)

第1節 目的

転倒は高齢者の健康を阻害し、自立生活を困難にさせる重要な問題である。このために転倒を予防するための研究が数多く行われており、転倒を生じさせる主な要因であるバランス能力が注目されている。

従来の研究では、静止した立位姿勢を保持する能力を静的バランス能力、身体を随意的に移動させた時の立位姿勢を保持する能力を動的バランス能力と定義している。しかしながら、数多くのバランステストからバランス能力を実証的に分類した研究は少ない。このために、片足立ちは静的バランス能力を評価すると主張する研究がある一方、片足立ちは動的バランス能力を評価すると主張する研究がある。同様のことは functional reach でもみられる。このように、一つのバランステストが研究者によって静的バランス能力、あるいは動的バランス能力に組み入れられている現状がある。また、近年では起立台の移動あるいは徒手で背中を押すなど外乱を用いて立位姿勢を保持する能力を評価するテストが開発されている (Nashner 1976; Whipple

& Wolfson 1990; Okada et al. 2001)。しかし、これらのテストが静的バランス能力、動的バランス能力のいずれを反映するか、あるいは独立した新たなバランス能力を反映するかは不明である。

以上のように、現在のところ、バランス能力を実証的な分類にもとづく評価がおこなわれていない、すなわち、バランス能力の因子構造が明らかにされていないといえる。高齢者の転倒を予防するために、若年者から高齢者までのバランス能力を包括的に評価する必要がある。そこで、本研究では若年者と高齢者を対象に、バランス能力の因子構造を明らかにする。

第2節 対象者

対象者は、研究参加の呼びかけに応じた地域在住の健常成人 60 名 (22±3 歳：以下、若年群) と高齢者 60 名 (69±5 歳：以下、高齢群) であった。対象者はすべて女性であった。本研究は、筑波大学大学院人間総合科学研究科に設置された研究倫理委員会の承認のもとに実施し、研究目的、方法について説明し、同意を得た。特に高齢群では、測定前に安静時の血圧と心拍数を測定し、テスト可能な健康状態であることを確認した。すべてのテストは事故もなく、完了し

た。

第3節 測定方法

形態、バランス能力、筋力は、下記の測定方法を用いて実施した。

第1項 形態

形態測定は、身長、体重、体脂肪率を実施した。

身長は、両足先を30度を開き、頭位を耳眼水平位にした直立姿勢にて身長計を使用して測定した。測定値は、床面から頭頂点間の鉛直間距離をcm単位で、小数点第1位まで計測した。体重および体脂肪率は、軽装のまま体脂肪計(TANITA社製：TBF-310)の中央に静かに乗り、直立姿勢にて測定した。体重はkg単位で、体脂肪率は%単位で、小数点第1位まで記録した。

第2項 バランステスト

バランステストは、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestの6項目を実施した。

①重心動揺

重心動揺において、対象者は両上肢を体側におき、重心動揺計（ANIMA 社製：GC10C）上で、両足を接する肢位とした。対象者には、視線の水平の高さで前方 1 m に設置した視標点を注視するように指示し、過度な動揺が消失（5～8 秒）してから計測を開始した。測定手順は、初めに開眼時、次に閉眼時の静的な立位保持を 30 秒間、各 1 試行した。なお、測定中は、静かに立位姿勢を維持するように指示した。

測定値は、足圧中心の移動距離を示す総軌跡長（LNG）と外周面積（AREA）を用いた。

②片足立ち

片足立ちにおいて、対象者は視線の水平前方 1m に設定された視標点を注視しながら任意の脚を挙上し、両上肢を腰に当てた片足姿勢とした（図 4-1:A）。

片足立ちの終了は次のいずれかの場合とした。挙上した脚が床面に接した場合、手を離して立位姿勢を保持した場合、挙上側の足部が支持側の下肢に接触させた場合であった。

測定値は、最大 60 秒を上限として秒単位で計測した。試行は 2 回
行い、最大値を代表値とした。

③functional reach

functional reach において、対象者は任意の肩関節を 90° 屈曲位
にて任意側の手を把握し、両足を離れた立位とした。上肢を最大限
に前方に伸ばし、その時の水平到達距離を測定した。ただし、測定
に際し、踵は離床してもよい(図 4-1:B)。

functional reach の再計測は、開始姿勢に戻ることができない場
合や、足部が離床した場合とした。なお、計測前に 1 回の練習を行
った。

測定値は cm 単位で小数点第 1 位まで記録した。試行は 2 回行い、
最大値を代表値とした。

④timed up and go

timed up and go において、対象者は椅子の背もたれに背部を接
し、両上肢を大腿の上におく座位とした。測定は合図と同時に椅子
から起立し、3m 前方にある地点を回って、再び着座するまでの所要

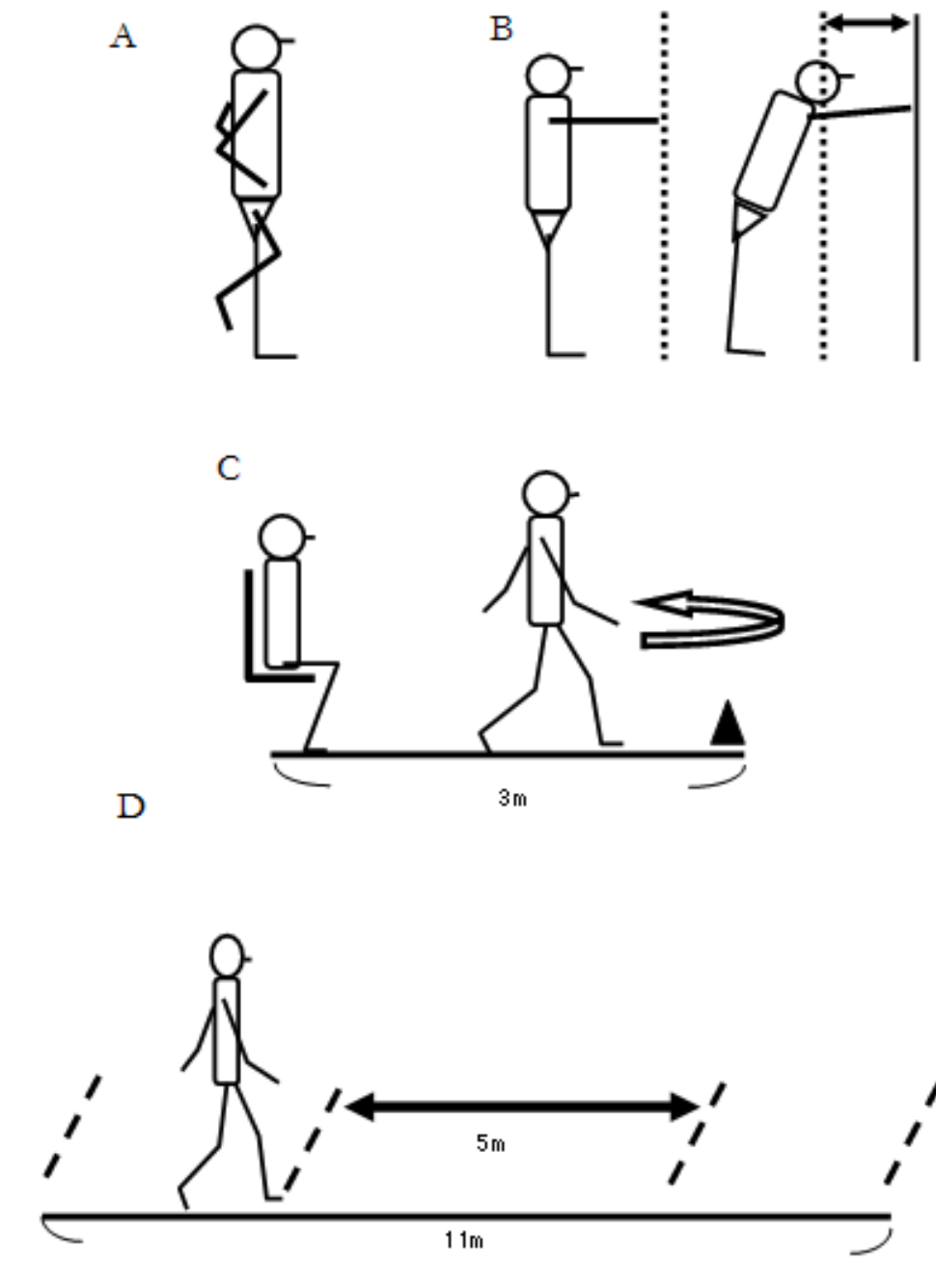


図 4-1. 本研究で用いたバランステスト

A: 片足立ち B: functional reach C: timed up and go D: 歩行

時間を測定した(図 4-1:C)。測定の開始および終了は、背部が背もたれから離れ、再び背もたれに接触するまでとした。対象者は、通常の速度で行った。

timed up and go の再計測は、合図前に背もたれから背部が離れる場合、上肢を使用しての起立や着座した場合のいずれかとした。なお、計測前に 1 回の練習を行った。

測定値は、秒単位で小数点第 1 位まで記録した。試行は 2 回行い、短い値を代表値とした。

⑤ 歩行

歩行は、通常の速さの歩行（通常速度歩行）とできるだけ速い歩行（最大速度歩行）を実施した(図 4-1:D)。11m の平坦な歩行路の 3m と 8m の地点にマークを貼り、5m 区間の通過に要する時間を測定した。また歩行開始後から 3m の地点直前に踵が接地した地点から、8m のラインを越えて踵が接地するまでの歩数、歩行距離を測定した(衣笠 1994)。試行回数は、通常速度歩行を 1 回、最大速度歩行を 2 回計測した。

歩行時間は秒単位で小数点第 1 位までストップウォッチを用いて

計測した。最大速度歩行では、歩行時間の短い方を代表値とした。
歩行時間、歩数、歩行距離から、速度 (m/s)、歩幅 (m)、歩行率
(steps/min) を算出した。

⑥EquiTest

EquiTest は、感覚統合機能テスト (Sensory organization test :
以下 SOT) と運動協調テスト (Motor coordination test : 以下 MCT)
の 2 種類を行った。

SOT および MCT の測定姿勢は、EquiTest の測定手順に準じて設定
した。対象者は EquiTest (NeuroCom 社製) の起立台上で前景の 1 点
を注視し、両上肢を体側におろした静止立位とした。両足底の位置
は、フォースプレートの回転軸と一致する足関節外果の位置とし、
踵間距離は身長によって 3 段階に既定した位置とした。転倒を防止
するために、すべての対象者は安全装具を装着し、カラビナにて起
立台上部にある安全棒からストラップで吊り下げた状態で測定した。
測定中は、出来るだけ立位姿勢を維持するように指示した。

SOT では、床面の前後の揺れに追従し、起立台または前景のどち
らか、または両方が傾斜する方法を用いて、重心動揺を評価した。

SOT は下記のように、6 種類の課題条件で実施した (図 4-2)。

課題条件 1：開眼時の静止立位

課題条件 2：閉眼時の静止立位

課題条件 3：重心動揺に呼応して前景が傾斜する課題

課題条件 4：重心動揺に呼応して起立台が傾斜する課題

課題条件 5：閉眼で重心動揺に呼応して起立台が傾斜する課題

課題条件 6：重心動揺に呼応して前景と起立台が傾斜する課題

測定は、初めに課題条件 1 および課題条件 2 の課題条件にて 20 秒間、2 試行ずつ計測した。次に、課題条件 3、課題条件 4、課題条件 5、課題条件 6 を無作為に試行し、それぞれ 20 秒間、2 試行ずつ計測し、計 12 回計測した。

MCT は起立台を前後方向に水平移動させる外乱を与えて、バランス能力を評価した。起立台の外乱の強さは、外乱強度 (中)である 10cm/s と外乱強度 (大)である 15 cm/s とした。4 種類の課題条件を以下に示す (図 4-3)。

課題条件 1：強度 (中)の後方向へ外乱

課題条件 2：強度 (大)の後方向へ外乱

課題条件 3：強度 (中)の前方向へ外乱

課題条件 4: 強度(大)の前方向へ外乱

測定は既定された 2 段階の外乱強度 (中、大)と、前方または後方に水平移動させる 2 方向の外乱方向を組み合わせた合計 4 条件で行った。試行は各 1 回ずつ行い、1 試行につき、不定期に同一強度の外乱を 3 回行った。

SOT の測定値は各課題条件につき、立位姿勢の保持を行った場合を 100 点満点で評価した、2 試行の平均得点を算出した。MCT の測定値は、各課題条件における外乱が生じてから反応を開始するまでの平均潜時と 4 条件全体の平均潜時をそれぞれ ms 単位で計測した。

なお、timed up and go と歩行テストにおいて、すべての対象者は同一規格の運動靴に履きかえてテストを行った。

第 3 項 形態による補正

歩行や筋力は身長や体重に依存するため、その影響を考慮する必要がある場合は、以下の式を用いて補正した。

補正歩幅 = 歩幅 / 補正身長

補正歩行率 = 歩行率 / 補正身長

補正速度 = 補正歩幅 × 補正歩行率

但し、補正身長=身長/全対象者の身長の平均値とした。

条件	課題条件1	課題条件2	課題条件3	課題条件4	課題条件5	課題条件6
視覚	開眼	閉眼	開眼	開眼	閉眼	開眼
前景	固定	固定	傾斜	固定	固定	傾斜
床面	固定	固定	固定	傾斜	傾斜	傾斜

図4-2. EquiTestにおける感覚統合機能テスト (SOT)

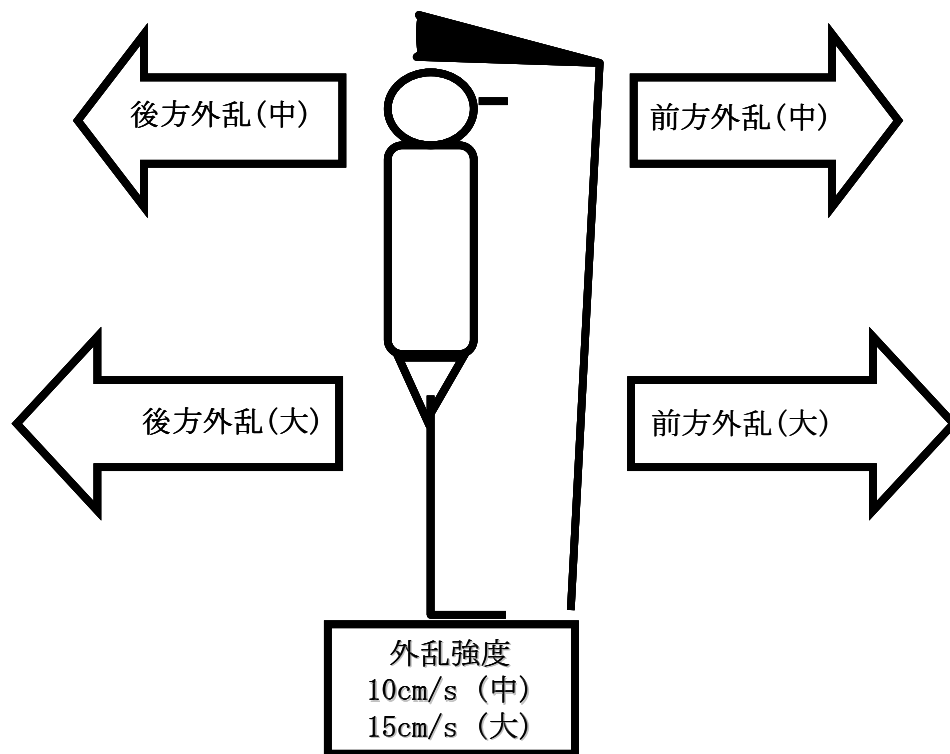


図 4-3. EquiTest における運動協調テスト (MCT)

第 4 項 統計解析

バランス能力の加齢変化を明らかにするために、若年群と高齢群におけるバランステストの測定値に対して、対応のない t 検定を行った。バランス能力の共通因子を明らかにするため、若年群および高齢群で探索的因子分析を行った。探索的因子分析は、主因子法による因子抽出とプロマックス回転を用いた。因子数の決定は、固有値が 1.0 以上であり、固有値寄与率の分散が 10%以上を基準とした。プロマックス回転後の因子負荷量の基準値は 0.5 以上とした。統計処理は SPSS11.0 を用いて行い、すべてにおいて有意水準は 5%未満とした。

第 4 節 結果

(1) バランステストの加齢変化

若年群と高齢群の年齢、身長、体重、体脂肪率は、表 4-1 に示した。また若年群と高齢群のバランステストにおける平均値と標準偏差を表 4-2 に示した。両群を比較した結果、形態では身長で有意な相違がみられたが、体重および体脂肪率に相違はみられなかった。

timed up and go、通常速度歩行の歩幅、SOT の課題条件 5 を除いて有意な相違がみられた。顕著な相違を示した 4 項目はいずれも重心動揺であり、若年群の測定値を 100%とした場合、閉眼時の総軌跡長(157%)、閉眼時の外周面積(149%)、開眼時の総軌跡長(137%)、開眼時の外周面積(132%)であった。

(2) バランス能力の探索的因子分析

若年群と高齢群それぞれにおけるバランス能力に共通する因子を明らかにするために、バランステストを用いて探索的因子分析を行った。バランステストのうち、片足立ちは若年群ですべて 60 秒できたため除外し、総計 18 項目を用いた。

若年群の場合、解釈が明瞭な 3 つの因子を抽出した(表 4-3)。

第 1 の因子は MCT (後方外乱(中); 後方外乱(大); 前方外乱(中); 前方外乱(大))、SOT (課題条件 4; 課題条件 6) に高い因子負荷を示した。MCT は前あるいは後方に起立台を水平移動させた場合の応答潜時で評価した。また SOT は重心動揺に呼応して起立台に外乱を加えた場合の重心動揺を評価した課題条件 4、重心動揺に呼応して起立台と前景の両方に外乱を加えた場合の重心動揺を評価した課題条件 6 であった。これらは起立台の

移動や前景の傾斜のように、外乱に対して重心を支持基底面内に安定させる因子であるため、「外乱応答バランス能力」と解釈した。

第2の因子は開眼および閉眼時の足圧中心の総軌跡長および外周面積に高い因子負荷を示した。これらは静的な立位姿勢を維持している時に、重心を支持基底面内に安定させる因子であるため、「静的バランス能力」と解釈した。

第3の因子は timed up and go、通常歩行速度に高い因子負荷を示した。timed up and go および通常歩行速度は、重心を新たな支持基底面内に移動する因子である。すなわち、新たな支持基底面内に重心を安定させる因子であるため、「動的バランス能力」と解釈した。

高齢群の場合、解釈が明瞭な3つの因子を抽出した(表4-4)。

第1の因子は開眼および閉眼時の足圧中心の総軌跡長と外周面積とSOT(課題条件2)、SOT(課題条件5、課題条件6)に高い因子負荷を示した。静止立位時の総軌跡長および外周面積とSOTの閉眼で静止立位時の重心動揺である課題条件2、SOTの閉眼の立位姿勢時に重心動揺に呼応して起立台に外乱を加えた場合の重心動揺を評価した(課題条件5;課題条件6)に高い因子負荷を示した。すなわち、「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」の両方が混在する因子であるといえるために、「静的バ

ランス能力+外乱応答バランス能力」と解釈した。

第2の因子はMCT（後方外乱(中)；後方外乱(大)；前方外乱(中)；前方外乱(大)）に高い因子負荷をもつので、「外乱応答バランス能力」と解釈した。

第3の因子はtimed up and go、通常歩行および最大歩行の速度に高い因子負荷を持つので、「動的バランス能力」と解釈した。

若年群、高齢群それぞれに抽出された因子間の相関を明らかにするために、因子得点でピアソンの積率相関係数を求めた。高齢群の場合、「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」に正の相関がみられた（ $r=0.367$ ； $P=0.041$ ）。若年群では因子間の相関を認めなかった（ $r=0.02-0.232$ ）。

表4-1. 若年者および高齢者における形態特性

	若年群 (n=60)		高齢群 (n=60)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢 (歳)	22.2	3.4	69.2	4.8
身長 (cm)	159.6	5.4	152.8	4.7
体重 (kg)	52.4	6.5	52.7	7.4
体脂肪率 (%)	22.7	4.5	26.4	5.5

*** p < .001.

表 4-2. 若年群および高齢群におけるバランステストの成績

	若年群 (n=60)		高齢群 (n=60)		%
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
開眼総軌跡長 (cm) ^{***}	33.40	7.14	45.74	13.38	137
開眼外周面積 (cm ²) ^{***}	1.67	0.70	2.62	1.41	157
閉眼総軌跡長 (cm) ^{***}	52.19	15.40	68.71	31.96	132
閉眼面積 (cm ²) ^{**}	2.59	1.07	3.88	2.92	149
functional reach (cm) ^{***}	45.46	5.29	39.63	4.98	87
timed up and go (s)	8.78	1.42	8.68	1.44	99
片足立ち (s) ^{**}	60.00	0.00	54.66	12.25	91
通常速度歩行-速度 (m/s) ^{**}	1.47	0.24	1.58	0.19	108
通常速度歩行-歩幅 (m)	0.70	0.08	0.70	0.07	101
通常速度歩行-歩行率 (steps/min) ^{***}	138.19	17.93	147.00	14.88	106
最大速度歩行-速度 (m/s) ^{***}	2.76	0.39	2.32	0.30	84
最大速度歩行-歩幅 (m) ^{**}	0.85	0.09	0.81	0.08	95
最大速度歩行-歩行率 (steps/min) ^{***}	212.08	28.53	187.17	22.29	88
課題条件1得点 (点) ^{***}	95.11	1.70	93.93	1.85	99
課題条件2得点 (点) ^{**}	93.02	2.36	91.63	2.45	99
課題条件3得点 (点) ^{***}	88.70	4.13	83.80	7.26	94
課題条件4得点 (点) ^{***}	82.38	7.23	77.32	7.04	94
課題条件5得点 (点)	62.73	11.13	58.63	15.83	93
課題条件6得点 (点) ^{***}	66.59	10.93	51.60	18.76	77
後方外乱(中) ^{***}	120.67	9.50	130.75	10.37	108
後方外乱(大) ^{***}	120.92	8.90	129.00	10.03	107
前方外乱(中) ^{**}	124.50	11.92	132.08	12.90	106
前方外乱(大) ^{**}	122.58	10.44	128.67	13.68	105

感覚統合機能テスト:課題条件1:開眼時の静止立位; 課題条件2:閉眼時の静止立位; 課題条件3: 開眼時の静止立位+前景傾斜; 課題条件4:開眼時の静止立位+起立台傾斜; 課題条件5:閉眼時の静止立位+起立台傾斜; 課題条件6:開眼時の静止立位+前景傾斜+起立台傾斜.

運動協調テスト;後方外乱(中):強度(10cm/s)の後方向への外乱; 後方外乱(大):強度(15cm/s)の後方向への外乱; 前方外乱(中):強度(10cm/s)の前方への外乱; 前方外乱(大):強度(15cm/s)の前方への外乱.

p<.01, *p<.001. % = 若年者を100%とした高齢者の百分率.

表 4-3. 若年群のバランステストに対する因子分析

項目	I	II	III	h^2
開眼総軌跡長	-.13	.69	.11	.69
開眼外周面積	.16	.63	.12	.71
閉眼総軌跡長	-.11	.68	.00	.78
閉眼外周面積	.09	.79	-.14	.75
functional reach	.16	.07	-.05	.28
timed up and go	-.10	.12	.77	.54
通常速度歩行-速度	.12	-.07	-.72	.55
最大速度歩行-速度	-.05	.16	-.27	.40
課題条件1得点	-.06	-.07	-.08	.26
課題条件2得点	-.26	-.46	-.08	.47
課題条件3得点	-.49	-.15	.13	.40
課題条件4得点	-.58	-.17	.14	.57
課題条件5得点	-.39	.03	.19	.49
課題条件6得点	-.66	-.17	.13	.62
後方外乱(中)	.54	-.25	.00	.73
後方外乱(大)	.71	-.11	.08	.76
前方外乱(中)	.66	-.05	.19	.63
前方外乱(大)	.64	-.05	.21	.63
固有値	3.03	2.36	1.33	6.73
分散(%)	20.0	16.0	10.4	46.4

感覚統合機能テスト:課題条件1:開眼時の静止立位; 課題条件2:閉眼時の静止立位; 課題条件3: 開眼時の静止立位+前景傾斜; 課題条件4:開眼時の静止立位+起立台傾斜; 課題条件5:閉眼時の静止立位+起立台傾斜; 課題条件6:開眼時の静止立位+前景傾斜+起立台傾斜.
運動協調テスト;後方外乱(中):強度(10cm/s)の後方向への外乱; 後方外乱(大):強度(15cm/s)の後方向への外乱; 方外乱(中):強度(10cm/s)の前方への外乱; 前方外乱(大):強度(15cm/s)の前方への外乱.

表 4-4. 高齢群のバランステストに対する因子分析

項目	I	II	III	h ²
開眼総軌跡長	.81	-.16	.17	.88
開眼外周面積	.69	-.09	-.07	.80
閉眼総軌跡長	.74	-.05	.21	.91
閉眼外周面積	.83	-.03	.23	.88
functional reach	-.14	.01	-.09	.24
timed up and go	.04	.15	.53	.48
通常速度歩行-速度	-.02	-.10	-.68	.61
最大速度歩行-速度	-.07	.03	-.55	.54
課題条件1得点	-.41	-.15	.26	.59
課題条件2得点	-.61	-.11	.28	.59
課題条件3得点	-.43	.03	.43	.42
課題条件4得点	-.37	-.19	.26	.47
課題条件5得点	-.58	-.10	-.26	.60
課題条件6得点	-.54	-.03	.10	.45
後方外乱(中)	-.01	.64	.31	.56
後方外乱(大)	-.19	.75	.15	.54
前方外乱(中)	.13	.80	.07	.74
前方外乱(大)	.02	.81	-.21	.70
固有値	4.96	2.39	2.28	9.63
分散(%)	27.6	13.3	12.7	53.5

感覚統合機能テスト:課題条件1:開眼時の静止立位;課題条件2:閉眼時の静止立位;課題条件3:開眼時の静止立位+前景傾斜;課題条件4:開眼時の静止立位+起立台傾斜;課題条件5:閉眼時の静止立位+起立台傾斜;課題条件6:開眼時の静止立位+前景傾斜+起立台傾斜.

運動協調テスト;後方外乱(中):強度(10cm/s)の後方向への外乱;後方外乱(大):強度(15cm/s)の後方向への外乱;前方外乱(中):強度(10cm/s)の前方への外乱;前方外乱(大):強度(15cm/s)の前方への外乱.

第5節 考察

本研究は若年群と高齢群を対象にバランス能力を構成する因子を探索した結果、両群ともに「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」の3因子を抽出した。ただし、高齢群では「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」の混在が示唆された。

バランス能力の因子構造に関する研究は、現在のところ少ない。島田ら(2006b)は要介護認定を受けた高齢者を対象に重心動揺、functional reach、functional balance scale、performance-oriented mobility assessment、manual perturbation testを用いてバランス能力の因子構造を探索した。manual perturbation testは対象者の肩に予告なしで徒手による後方への外乱を行うテストである(島田ら 2000)。functional balance scaleは座位、立位姿勢の保持、立ち上がり動作、代表的な日常生活動作など14項目の課題で評価するテストである(Berg et al. 1992)。performance-oriented mobility assessmentは、座位、立位姿勢の保持、立ち上がり動作、歩行検査からなる16項目の課題で評価するテストである(Tinetti 1986a)。この報告によれば、4つの因子が抽出された。第1因子は重心動揺に代表される「静的姿勢保持」、第2因子はmanual perturbation testに代表される「外乱負

荷応答」、第3因子はfunctional reachに代表される「随意運動中のバランス（支持基底面固定）」、第4因子はfunctional balance scaleやperformance-oriented mobility assessmentに代表される「随意運動中のバランス（支持基底面移動）」と解釈している。本研究の結果は、島田ら（2006b）の研究とほぼ一致する結果であった。すなわち、本研究の「静的バランス能力」は島田ら（2006b）の「静的姿勢保持」であり、順次、「動的バランス能力」は「随意運動（支持基底面移動）」、「外乱応答バランス能力」は「外乱負荷応答」である。ただし、本研究ではfunctional reachに代表されるような「随意運動中のバランス（支持基底面固定）」が抽出されなかった。本研究の対象者は地域在住高齢者であり、島田ら（2006b）は要介護高齢者であるなど、対象者の身体的機能の相違が反映された可能性がある。

高齢者で「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」が混在し、一つの因子として抽出された。金ら（1992）は中・高齢者を対象に運動能力の因子分析を行ったところ、敏捷性と筋力が一つの因子に混在することを示した。若年者では敏捷性と筋力が別々の因子として抽出されることから、個々の運動能力は発達過程で分化するが、加齢とともに逆行すると解釈した。また、Nagasaki et al.（1995）は高齢者の運動能力の因子構造を共分散構造分析を行ったところ、個々の運動能力の相関が高くなり、若年者では別々の運

動能力が一つの因子として抽出されることを示した。このように、若年者では別々の運動能力として存在していたが、高齢者で個々の運動能力の相関が高くなり、一つの因子として抽出されたといえる。この背景には加齢に伴う生理機能の低下のために、個々の運動能力の成績が低下した結果と推察される。

これらの結果から、高齢者の場合、運動能力だけではなく、バランス能力の因子構造においても加齢によって個々の因子の相関が高くなり、「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」が混在したと解釈できる。しかしながら、高齢者「外乱応答バランス能力」は第2の独立因子として抽出され、かつ第1因子と相関を認めた。よって、高齢者のバランス能力の因子構造は「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」であるといえる。

以上より、本研究は若年者と高齢者それぞれのバランス能力の因子構造は、「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」であると結論づけた。

高齢者の転倒予防のためにバランス能力の加齢変化、すなわち、バランス能力の因子構造の加齢変化を明らかにする必要がある。

第6節 要約

本研究の目的は、若年者と高齢者におけるバランス能力の因子構造を明らかにすることであった。対象は若年者60名と地域在住の高齢者60名であり、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestの6項目を実施した。バランステストに対する因子分析の結果、若年群と高齢群それぞれで「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」の3因子を抽出した。ただし、高齢群では「静的バランス能力+外乱応答バランス能力」を抽出した。

高齢者の場合、バランス能力の因子構造である「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」が加齢によって個々の因子の相関が高くなり、「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」の2因子が混在すると解釈した。

第5章 バランス能力の因子構造における加齢の特徴

(研究課題 1-2)

第1節 目的

前章では若年者と高齢者を対象にバランス能力の因子構造を明らかにしたところ、若年者と高齢者に共通する「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」の存在が示された。従来、バランス能力は静的バランス能力と動的バランス能力に分けられていたが、新たな独立した外乱応答バランス能力の存在が示唆された。しかしながら、高齢者では「静的バランス能力」と「外乱応答バランス能力」の混在が示された。

転倒を予防するためには、バランス能力における加齢の影響を把握する必要がある。従来の研究で加齢によるバランステストの低下は報告されている。しかしながら、全体像であるバランス能力における加齢の特徴は不明である。このためには、バランス能力の基本的な因子構造の同質性を仮定して検証し、若年者と高齢者のバランス能力を特徴づける因子の相違を明らかにする。

かにする必要がある。換言すれば、前章でみられたように、バランス能力は静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力から構成されると仮定し、若年者あるいは高齢者のバランス能力の特徴を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では前章の結果をもとに、「バランス能力」は「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」から構成されると仮定した構造モデルを用いて、バランス能力の因子構造における加齢の特徴を明らかにする。

第2節 対象者

対象者は、研究課題1-1と同様であった。

第3節 測定方法

形態、バランス能力は、下記の測定方法を用いて実施した。

第1項 形態

形態測定は前章と同様に、身長、体重、体脂肪率を実施した。

第2項 バランステスト

バランステストの項目は前章と同様に、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestの6項目を用いた。

第3項 バランス能力の因子構造モデル

バランス能力を測定する数多くのテストは、内在する静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力の3つの共通因子に集約され、さらに上位の構成概念であるバランス能力に帰結する仮説に基づいて、2次の因子構造モデルを構成した(図5-1)。このモデルは、あるバランステスト項目(y)は1次因子(η)の静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力を説明する(λ)。同時に測定には必ず誤差と、そのテスト以外でも測定できる可能性の双方がある(ε)。1次因子の静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力は2次因子のバランス能力(ξ)

をそれぞれ説明し(γ)、同時にある1つのバランス能力はそれ以外のバランス能力の影響を受けている可能性(ζ)をもつと仮定した。因子構造モデルに用いたテスト項目は、前章の因子分析の結果にもとづいて行い、若年者と高齢者に共通して因子負荷量が0.5以上であるバランステスト、すなわち静的バランス能力は開眼および閉眼の外周面積と EquiTest の課題条件 2、動的バランス能力は通常速度歩行および最大速度歩行の歩行速度と timed up and go、外乱応答バランス能力は後方外乱(大)と前方外乱(中、大)を選択した。

モデルの評価は、適合度指標 (goodness-of-fit index: GFI)、修正適合度指標 (adjusted goodness-of-fit index: AGFI)、比較適合度指標 (comparative-fit index: CFI)、残差平均平方根 (root mean square error of approximation: RMSEA)、 χ^2 値および χ^2/df 比を用いた。GFI、AGFI、CFI は変数の全分散のうちモデルにより説明される部分の割合を表し、RMSEA はモデルで説明されなかった部分を示す指標である。GFI および AGFI はいずれも 1 に近いほど適合率が高いことを示し、GFI は 0.9 以上、AGFI は 0.8 以上であればモデルはデータを十分に説明している。RMSEA は小さいと適合がよく、一

一般的には 0.05 以下であれば許容される。 χ^2 値および χ^2/df 比は値が小さいほどモデルへの適合度が高いことを示し、 χ^2/df 比は 2 もしくは 3 未満であると妥当性の高いモデルといえる。

第 4 項 統計解析

バランス能力の因子構造を明らかにするために、共分散構造分析を行った。この時、最尤法による解を求めた。モデル採択は GFI および AGFI、CFI、RMSEA、 χ^2 値および χ^2/df 比を基準にした。統計処理は、SPSS11.0、Amos5.0 を用いて行い、すべてにおいて有意水準は 5%未満とした。

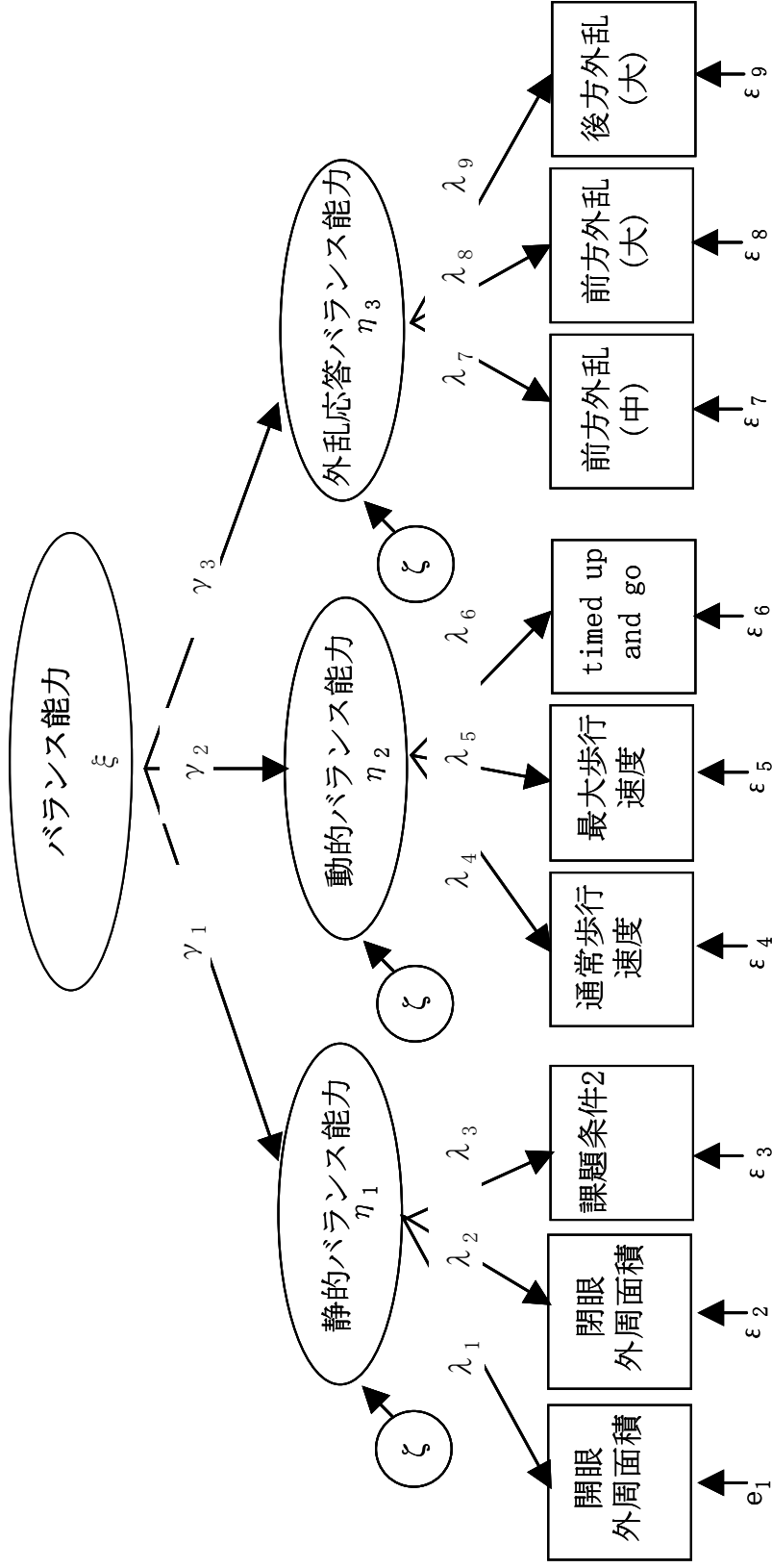


図5-1. バランス能力の因子構造モデル

課題条件2:閉眼時の静止立位, 通常歩行速度:通常歩行の速度, 最大歩行速度:最大歩行の速度, 前方外乱(中/大)・後方外乱(大):MCT課題における台移動速度が10cm/sと15cm/sの場合。

第4節 結果

第1項 バランス能力の共分散構造分析

バランス能力の因子構造を明らかにするために、共分散構造分析を行った。因子構造モデルは、前章の探索的因子分析の結果から、2次因子である「バランス能力」は、1次因子である「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」の3つの下位構造をもつと仮定した。若年群の場合、適合度指標は GFI=0.931、AGFI=0.871、CFI=1.000、RMSEA=0.000、 $\chi^2/df=0.872$ を示した。いずれもモデル採択基準を満たした(図 5-2)。バランス能力から1次因子へのパス係数は、静的バランス能力に 0.21、動的バランス能力に 0.24、外乱応答バランス能力に 0.76を示した。1次因子から観測変数へのパス係数の絶対値は、0.55から 0.86といずれも中等度から高い値を示した。

高齢者の場合も同様に、1次因子は「静的バランス能力」、「動的バランス能力」、「外乱応答バランス能力」の3つの下位構造をもつと仮定した。その結果、適合度指標は GFI=0.923、AGFI=0.843、

CFI=0.984、RMSEA=0.042、 $\chi^2/df=1.103$ でいずれもモデル採択基準を満たした(図 5-3)。バランス能力から 1 次因子へのパス係数は、静的バランス能力に 0.71、動的バランス能力に 0.28、外乱応答バランス能力に 0.43 を示した。1 次因子から観測変数へのパス係数の絶対値は、0.54 から 0.89 といずれも中等度以上と高かった。

GFI= .931, AGFI= .871,
CFI=1.000, RMSEA= .000,
 $\chi^2/df= .872$.

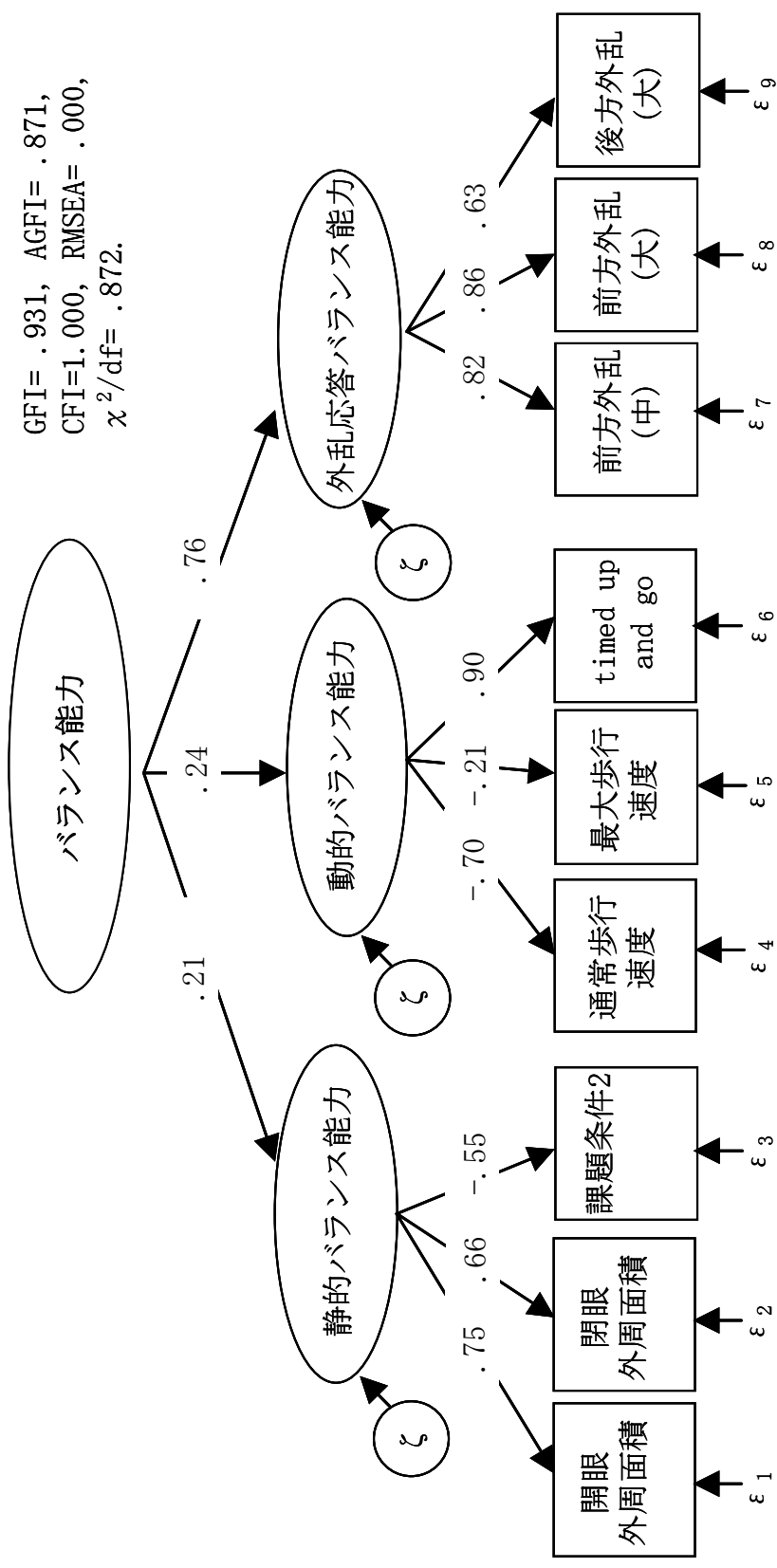


図5-2. 若年群におけるバランス能力の因子構造モデル

課題条件2:閉眼時の静止立位, 通常歩行速度:通常歩行の速度, 最大歩行速度:最大歩行の速度, 前方外乱(中/大)・後方外乱(大):MCT課題における台移動速度が10cm/sと15cm/sの場合.

・図に示した係数はすべて有意である.

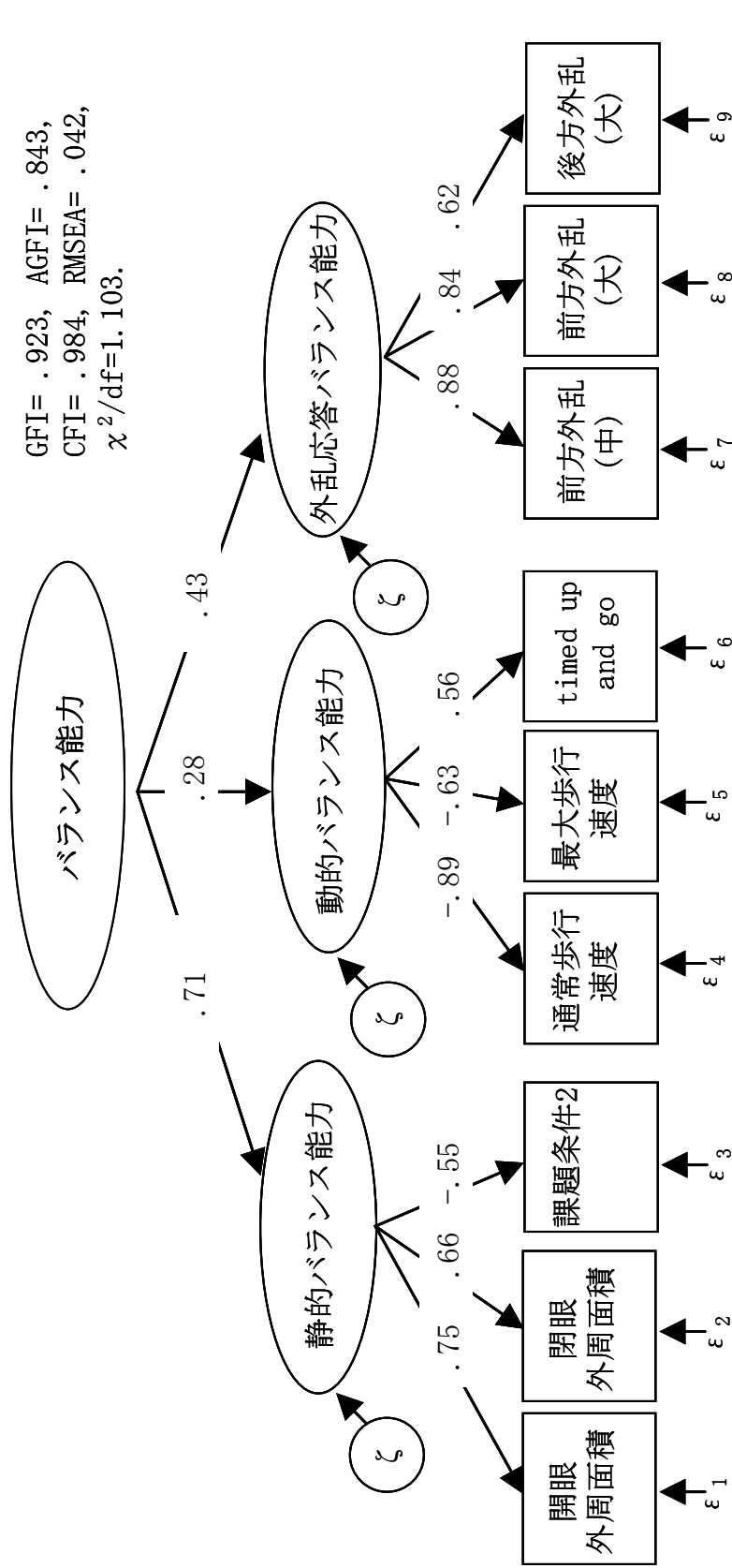


図5-3. 高齢群におけるバランス能力の因子構造モデル

課題条件2: 閉眼時の静止立位, 通常歩行速度: 通常歩行の速度, 最大歩行速度: 最大歩行の速度, 前方外乱(中/大)・後方外乱(大): MCT課題における台水平移動速度が10cm/s(中)と15cm/s(大)の場合.

・ 図に示した係数はすべて有意である.

第5節 考察

本研究において、高齢群と若年群のバランス能力は、いずれも静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力から構成されることが明らかになった。また、若年者および高齢者におけるバランス能力の特徴は、若年者で外乱応答バランス能力、高齢者で静的バランス能力であった。

高齢者と若年者でバランス能力を特徴づけるバランス能力に相違がみられた背景には、立位姿勢を安定させる感覚系の関与が考えられる。一般に、立位姿勢を安定させるための感覚系として、視覚、体性感覚、前庭がある (Horak et al. 1989; Horak 1997)。たとえば、Pyykko et al. (1988)によると、6歳から88歳を対象に立位姿勢に及ぼす振動刺激、圧感覚、視覚の影響を調査した。その結果、60歳以上の参加者では、開眼時に比べて閉眼時の重心動揺が増大したが、下肢に振動刺激を加えても、重心動揺は変化しなかった。逆に、若年者では開眼時と閉眼時の重心動揺の差は少なく、振動刺激を加えると重心動揺は増大した。開眼時に比べて閉眼時の重心動揺が加齢とともに増加することは報告されている (橋詰ら 1986; 古名ら 1995;

Sheldon 1963)。また、視覚流動を用いた研究でも高齢者は視覚に依存していることが明らかにされている (Wade et al. 1995)。

本研究で静的バランス能力を反映する項目は、重心動揺における開眼および閉眼の総軌跡長と外周面積である。先行研究の結果を踏まえると、本研究の結果は立位姿勢を安定させるために関与する感覚系の特徴が、加齢によって体性感覚から視覚に移行したことを伺わせる。

静的バランス能力と比較して、動的バランス能力や外乱応答バランス能力は体性感覚の機能が不可欠である。たとえば、歩行中の下肢の関節角度の変化、外乱に対する素早い姿勢応答など体性感覚は立位姿勢の安定に用いられている。しかし、静的バランス能力において体性感覚はそれほど用いられていない。たとえば、Fujiwara et al. (1999) は静的な立位姿勢中の体性感覚である位置感覚を測定し、指示された足圧中心の位置と実際の足圧中心の位置との誤差を評価した。その結果、通常の立位姿勢である足長の 50% 付近で絶対誤差が大きく、踵やつま先付近に足圧中心があると、絶対誤差が小さいことを明らかにした。

一方、体性感覚の加齢による低下は、高齢者の動的バランス能力と外乱応答バランス能力を低下させ、結果として高齢者の個人差は少なくなった。逆

に、静的バランス能力では体性感覚の関与は相対的に少ないために、個人差を大きく反映し、上位のバランス能力との関係は高くなったと言える。また、視覚においても、若年者では視覚機能の優劣は少ないために、体性感覚が最も関与する外乱応答バランス能力によって若年者のバランス能力は特徴づけられると考えられる。

しかしながら、高齢者において動的バランス能力、外乱応答バランス能力の重要性が低いことを意味するものではない。なぜならば、高齢者の自立生活に影響を及ぼす転倒は、静的バランス能力よりも動的バランス能力あるいは外乱応答バランス能力と関連する可能性があるからである (Podsiadlo & Richardson 1991; Shumway-Cook 2000)。

これらの結果より、本研究の若年者と高齢者におけるバランス能力の相違は、加齢による体性感覚機能の低下で姿勢を安定させるための感覚系の関与が変化し、若年者で外乱応答バランス能力、高齢者で静的バランス能力に特徴づけられたと示唆される。

本研究における若年者の因子構造において、動的バランス能力は外乱応答バランス能力と比較してバランス能力を反映しなかった。動的バランス能力と外乱応答バランス能力はいずれも体性感覚の関

与が考えられる。しかし、動的バランス能力を代表する歩行は末梢からの体性感覚の情報が少なくても中枢指令によって遂行されるが、外乱応答バランス能力では外乱時にみられる筋の伸展など体性感覚の情報が不可欠である。このように、体性感覚は外乱応答バランス能力の成否により関係している。

以上より、若年者と高齢者のバランス能力は、いずれも静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力によって構成される。若年者では外乱応答バランス能力によって、高齢者で静的バランス能力によって特徴づけられることを示唆した。

第 6 節 要約

本研究は、若年者と地域在住の高齢者を対象に多数のバランステストを用いて、バランス能力の因子構造とその因子寄与に及ぼす加齢の影響を明らかにした。対象は地域在住の若年者 60 名（以下；若年群）と高齢者 60 名（以下；高齢群）であり、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTest の 6 項目を実施した。因子構造モデルは、バランス能力が静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力の 3 つの下位構造をもつと仮定した。共分散構造分析の結果、若年群と高齢群の適合度指標はいずれもモデル採択基準を満たした。若年群の場合、「バランス能力」からのパス係数は「静的バランス能力」に 0.21、「動的バランス能力」に 0.24、「外乱応答バランス能力」に 0.76 を示した。高齢者の場合、「バランス能力」から 1 次因子へのパス係数は「静的バランス能力」に 0.71、「動的バランス能力」に 0.28、「外乱応答バランス能力」に 0.43 を示した。

以上より、バランス能力は静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力より構成されるが、その構造は加齢によって外乱応答バラ

ンス能力から静的バランス能力に変化する可能性を示唆した。

第6章 バランス能力の因子構造からみた運動介入の効果（研究課題2）

第1節 目的

前章では、若年者、高齢者ともにバランス能力は静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力で構成されることを確認し、若年者では外乱応答バランス能力、高齢者では静的バランス能力によって特徴づけられることを示唆した。

転倒を予防するためにバランス能力を改善させる運動介入が数多く行われている。しかし、運動介入で用いられたバランステストは少数である（Lord et al. 1996; Campbell et al. 1997; Shumway-cook et al. 1997; Suzuki et al. 2004）。このために、先行研究で用いられたバランステストは静的バランス能力のみ、あるいは動的バランス能力のみを評価するなどの偏りがある。転倒は躓きや滑りのような予測できない状況で生じることから、新たに外乱に対するバランス能力を評価する必要がある（大淵ら 2004; Shimada et al. 2004）。しかしながら、現在のところ、バランス能力の因子構造にもとづいたバランステストを用いて、介入効果を検証した報告はほと

んど見当たらない。

一方、介入で用いられるバランス運動は太極拳 (Klein & Adams 2004; Li et al. 2005; 郭ら 2007) や、片足立ちや継ぎ足歩行などのバランスを要求する動作課題 (Wolf et al. 1997; Shimada and Uchiyama 2003; Islam et al. 2008) であり、バランスボール (中谷ら 2001) やフォーム (Hu & Woollacott 1994) のように、不安定な環境、すなわち、外乱刺激を用いて立位姿勢を維持する運動は少ない。外乱応答バランス能力を要求する運動は従来の運動よりも高齢者のバランス能力を改善させることが期待される。

このように、バランス能力の因子構造にもとづくバランステストを用いて、運動介入が高齢者のバランス能力に及ぼす影響を明らかにする必要がある。加えて、バランス能力は筋力と関連すると報告されているが (Daubney & Gulhan 1999; 新井ら 2003; Hess & Woollacott 2005)、筋力の向上がバランス能力の改善に関連するかは議論があり、本研究でもこの点を検証する。

以上より、本研究は無作為化比較試験法を用い、6ヶ月間のバランス運動介入が静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力に及ぼす影響を明らかにする。また、バランス運動による筋力の向上とバラン

ス能力の改善の関連を明らかにする。

第2節 対象者

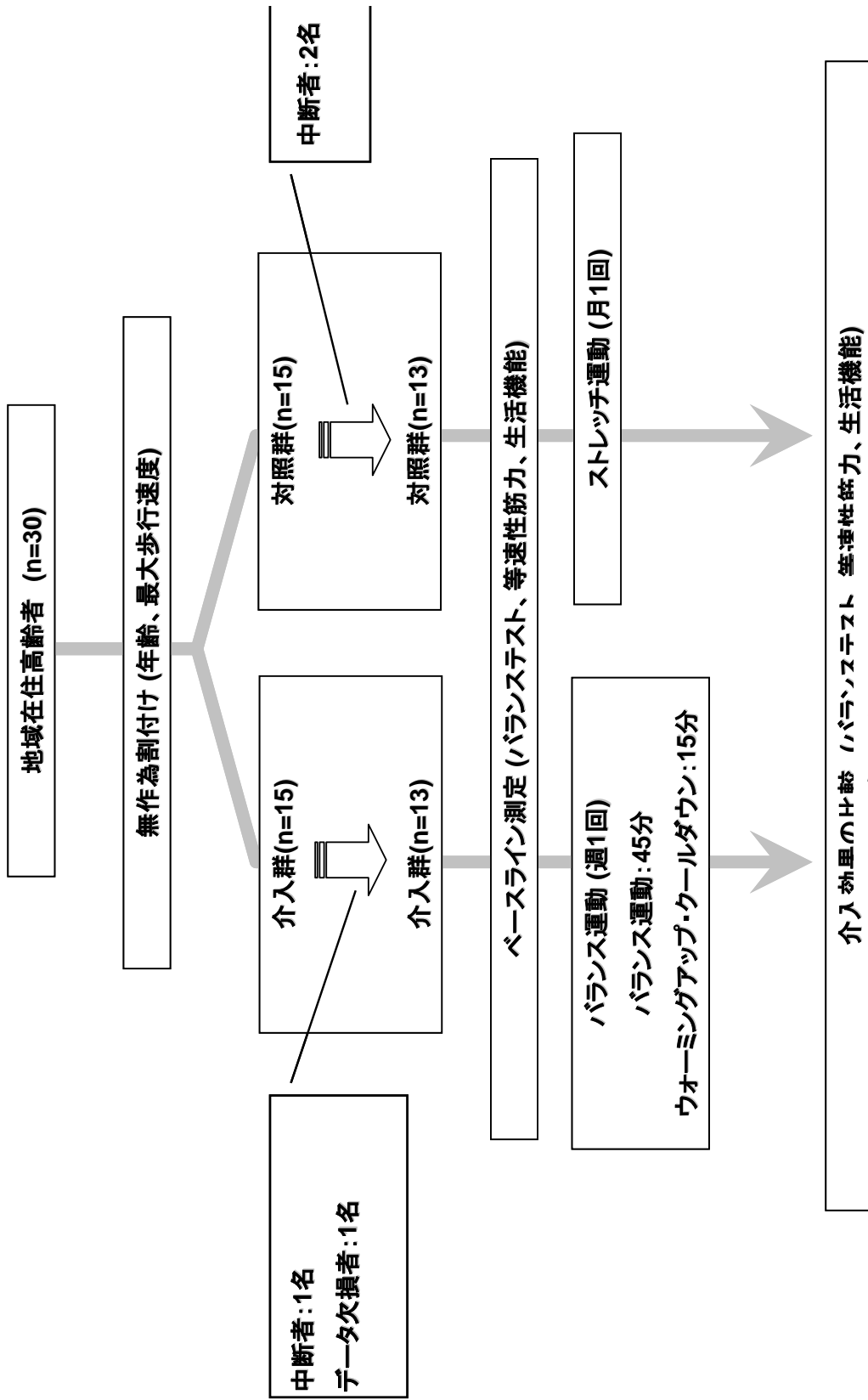
対象者は、運動介入の研究参加の呼びかけに応じた地域在住の高齢女性30名であった。運動介入前の年齢および最大歩行速度をもとに無作為割付けを行い、介入群(15名)と対照群(15名)に分けた。その内、家庭事情によって中断した者(3名)、教室前後に実施したバランステストのデータに欠損のある者(1名)は本研究の対象から削除した。最終的に本研究の対象者は26名であり、介入群13名と対照群13名であった(図6-1)。なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科に設置された研究倫理委員会の承認のもとに、研究目的、方法について説明し、同意を得た。

第3節 測定方法

第1項 介入内容(図6-2)

介入群はバランス運動を週1回の頻度で24週間実施した。バランス運動

は60分間で構成され、主運動は45分、主運動前後のストレッチや整理運動は15分であった。本研究で用いたバランス運動の用具は、Gボール（レードラプラスチック社製）、ソフトギムニク（レードラプラスチック社製）、JPクッション（サンハーズ社製）であり、不安定な条件下で行った。Gボールおよびソフトギムニクは塩化ビニルで加工され、内部の空気圧によって弾性を調節できる大小のボールであり、JPクッションは酢酸ビニル樹脂を加工した網状構造の直方体クッション（縦50.5cm×横50.5cm×厚10.5cm）である。JPクッションの特性として、その素材と構造による弾性と不安定性の外乱刺激を同時に加える特徴がある。Gボール、ソフトギムニク、JPクッションを組み合わせることにより、弾性に加えて、不安定性による外乱を誘発する運動が可能である。これら3種類の運動用具を用いて、音楽に合わせて「歩く」、「弾む」、「踏み出す」といった全身的でリズムカルな運動を3段階に設定した。第1段階では、JPクッション上で弾性と不安定性による外乱刺激に対して、転倒時の踏み出し動作を中心として多様なステップワークの習得を目指した。第2段階では、立位姿勢保持を行いながら、「投球する」、「捕球する」、「弾ませる」といった、ソフトギムニクの不規則な動きに対して身体を順応させる姿勢調節能力の習得を目指した。



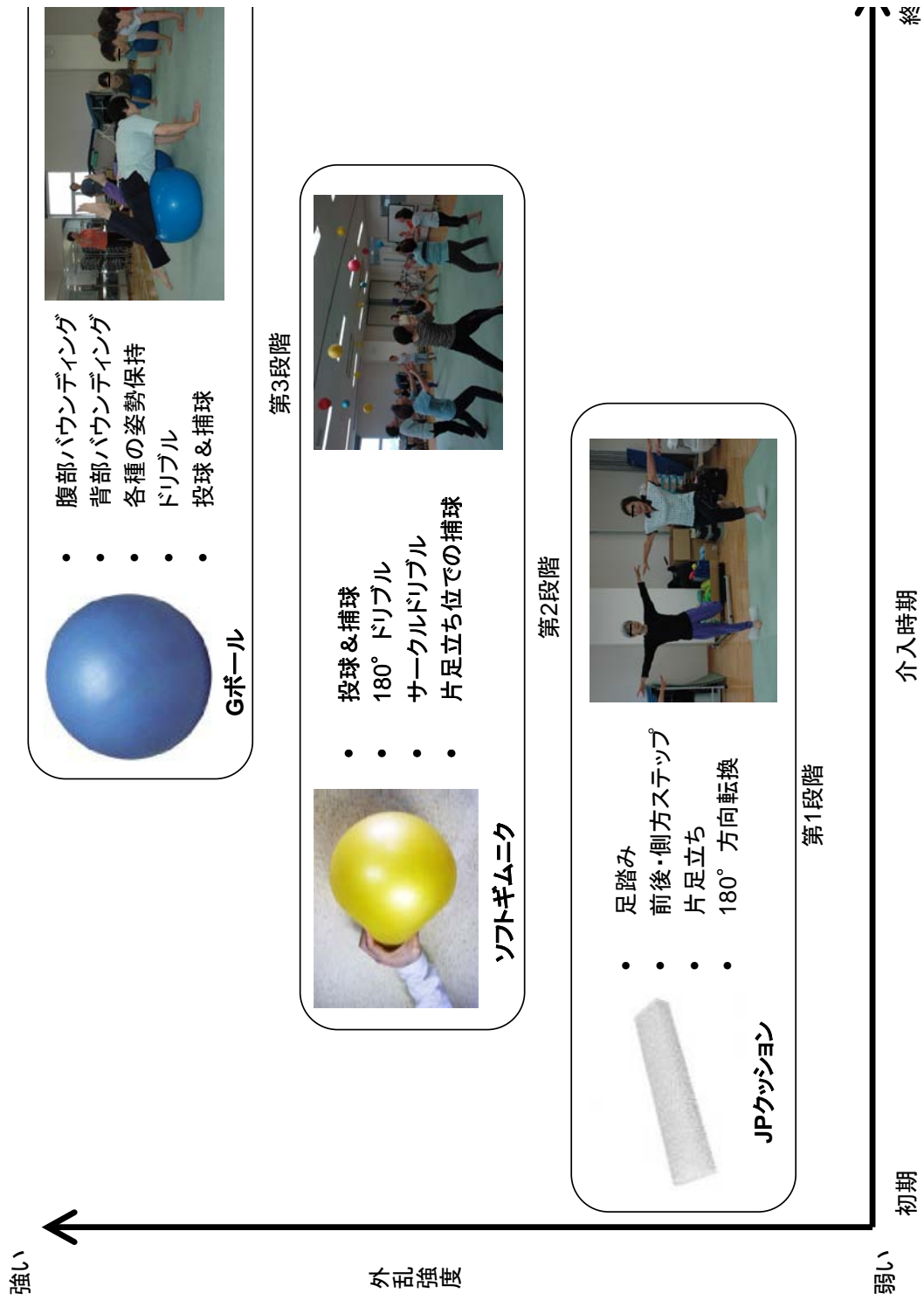


図6-2. バランス運動内容

第3段階では、Gボールによる弾性感と浮游感を利用して、第1および第2段階よりもさらに強い外乱刺激に対する全身的なバランス運動の習得を目指した。運動はすべて専門家の指導のもとで行い、運動負荷は参加者の達成感や継続性を高めるために、定められた回数や時間をこなすことを避け、音楽に合わせた一連の運動の習得を課題とした。

なお、介入群は運動前に血圧および脈拍を測定し、また問診にて健康状態を確認した。対照群は、同期間中に月1回の軽いストレッチ運動を実施した。

第2項 形態測定

形態は、第4章および第5章と同様に、身長、体重、体脂肪率を測定した。

第3項 質問紙調査

高齢者の生活機能を評価するために、老研式活動能力指標を用いた。老研式活動指標は地域に在住する高齢者の生活機能を評価するために考案された指標であり、手段的自立、知的能動性、社会的役割の3つの下位の指標

からなる 13 項目で構成されている (Koyano et al. 1991)。各項目に対して「はい」に 1 点を、「いいえ」に 0 点を与え、合計得点 (13 点満点) を算出した。

第 4 項 バランステスト

本研究で用いたバランステストは第 4 章および第 5 章と同様に、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTest の 6 項目であり、介入前後で実施した。

第 5 項 筋力テスト

筋力は、等速性に発揮した膝関節の屈曲力および伸展力、足関節の背屈力および足底屈力を測定した。測定肢は利き足とし、ボールを蹴る側の脚とした。対象者の姿勢は、Cybex6000 のプロトコールに準じて設定した。膝屈曲力および膝伸展力は、膝窩部が座面に接し、背部が背もたれに接する座位とした。体幹部および大腿部を固定し、裂隙の位置に回転軸を調節した。足背屈力および足底屈力は、背部が背もたれに接し、膝 90° 屈曲させた座位とした。大腿部を固

定し、内果と外果を結んだ線にプレート中央が直交する位置に、回転軸を一致させた。なお、測定中における両側上肢は、体幹前面で交差させた。

いずれの筋力測定も $60^{\circ}/s$ および $180^{\circ}/s$ の角速度で行った。膝関節の屈曲および伸展は、連続して3往復ずつ計測した。同様のことを足関節の背屈および底屈で行った。対象者は、いずれの場合も最大努力で行うように指示した。試行間には、90秒の休憩時間をとった。

測定値は、各動作時におけるピークトルクを Nm 単位で記録した。測定に際し、それぞれ計測前に、1回の練習を行った。

なお、分析にはすべて体重 (kg) で補正した値を用いた。

第5項 分析および統計処理

介入前の身体的特徴、バランステストおよび筋力テストについて、介入群と対照群の相違を明らかにするために、対応のない t テストを行った。介入効果を明らかにするために、介入後の変化量 (介入後と介入前の差) を用いた一元配置 (介入群、対照群) の分散分析を行った (郭ら 2007)。介

入後の筋力とバランステストの関係を明らかにするために、Pearson の相関係数を用いた。統計処理は SPSS16.0 を用いて行い、すべてにおいて有意水準は 5%未満とした。

第 4 節 結果

第 1 項 参加状況

本研究の出席率は介入群で 80.6%、対照群で 66.7%であった。

第 2 項 介入前における介入群と対照群の比較

介入前における介入群および対照群の比較を表 6-1 に示した。介入群および対照群は身体的特徴、バランステスト、等速性筋力、老研式活動能力指標のすべての測定項目で相違はみられなかった。よって、介入群と対照群の同質性が確認された。

第 3 項 介入後の身体的特徴の変化

介入群と対照群における介入後の身体的特徴の変化を表 6-2 に示す。介

入後の体重、体脂肪率に変化がみられなかった。

第4項 介入後のバランステストの変化

介入群と対照群における介入後のバランステストの変化を表 6-3 に示した。介入群の通常速度歩行の歩幅は介入後に $0.04 \pm 0.07\text{m}$ と増加し、対照群の $-0.02 \pm 0.07\text{m}$ よりも有意な改善がみられた ($p=0.049$)。ただし、介入後の通常速度歩行の速度は有意ではなかった。この他に介入後に有意な変化を示したバランステスト項目はみられなかった。すなわち、介入効果のみられたバランステストは通常速度歩行の歩幅のみであった。

第5項 介入後の等速性筋力の変化

介入群における膝屈曲 $180^\circ / \text{s}$ 時のピークトルクは対照群に比較して改善傾向を示した ($p=0.050$)。その他の等速性筋力に介入効果はみられなかった (表 6-4)。

筋力とバランステストの相関関係を明らかにするために、介入群で改善傾向を示した膝屈曲 $180^\circ / \text{s}$ ピークトルクの変化量と介入前のバランステストの測定値および介入後のバランステストの変化量との相関係数をそれ

ぞれ算出した。通常速度歩行の歩幅を含め、すべてのバランステストの成績はいずれのピークトルクの変化量と有意な相関はみられなかった。

表 6-1. 介入前における形態、バランステスト、筋力の比較

測定項目	単位	介入群 (n=13)		対照群 (n=13)		P値
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
年齢	years	68.5	3.9	67.8	3.6	.641
収縮期血圧	mmHg	143.3	17.0	137.9	14.9	.400
拡張期血圧	mmHg	87.8	11.4	84.4	10.0	.419
心拍数	beats/min	78.0	12.6	75.5	9.7	.571
身長	cm	151.9	2.9	152.1	6.1	.912
体重	kg	50.8	6.6	53.5	7.9	.347
体脂肪率	%	25.8	6.6	27.3	3.7	.486
老研式活動能力指標	points	12.7	0.6	12.6	1.4	.717
開眼総軌跡長	cm	44.4	11.4	45.2	13.4	.870
開眼動揺面積	cm ²	2.3	1.2	2.5	1.4	.681
閉眼総軌跡長	cm	60.9	17.6	68.0	20.1	.345
閉眼動揺面積	cm ²	2.9	1.3	3.9	1.6	.097
functional reach	cm	40.0	2.2	39.0	5.5	.583
timed up and go	s	8.8	1.1	9.0	1.2	.669
片足立ち	s	54.6	13.5	55.5	11.0	.849
通常速度歩行-速度	m/s	1.5	0.2	1.6	0.2	.744
通常速度歩行-歩幅	m	0.7	0.0	0.7	0.1	.283
通常速度歩行-歩行率	steps/min	157.4	16.0	148.3	14.9	.147
最大速度歩行-速度	m/s	2.2	0.2	2.3	0.3	.394
最大速度歩行-歩幅	m	0.8	0.1	0.8	0.1	.337
最大速度歩行-歩行率	steps/min	187.7	15.7	194.8	24.4	.389
SOT総合得点 ¹⁾	points	75.7	4.4	75.5	4.1	.922
MCT平均潜時 ²⁾	ms	125.0	9.7	132.7	10.5	.064
屈曲60° ピークトルク	Nm/kg	0.8	0.1	0.9	0.2	.739
屈曲180° ピークトルク	Nm/kg	0.6	0.2	0.6	0.1	.639
伸展60° ピークトルク	Nm/kg	1.5	0.3	1.5	0.3	.164
伸展180° ピークトルク	Nm/kg	0.9	0.2	0.9	0.2	.935
背屈60° ピークトルク	Nm/kg	0.3	0.1	0.2	0.0	.695
背屈180° ピークトルク	Nm/kg	0.1	0.0	0.2	0.0	.362
底屈60° ピークトルク	Nm/kg	0.6	0.2	0.8	0.2	.458
底屈180° ピークトルク	Nm/kg	0.4	0.1	0.4	0.1	.620

¹⁾ SOT総合得点：EquiTestを用い、開眼あるいは閉眼、起立台または前景が前後に移動あるいは傾斜するなど組み合わせた6条件における重心動揺の合計得点。

²⁾ MCT平均潜時：EquiTestを用い、前方または後方に起立台を水平移動させる4条件で行った時の平均潜時。

表6-2. 介入前後の変化；身体的特徴

測定項目	単位	介入群 (n=13)		対照群 (n=13)		P値
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
収縮期血圧	mmHg	-3.23	15.86	-6.69	15.11	0.574
拡張期血圧	mmHg	2.46	14.31	0.62	14.44	0.746
心拍数	beats/min	3.92	6.17	-1.38	12.02	0.169
体重	kg	0.54	1.77	-0.06	1.01	0.299
体脂肪率	%	2.08	1.76	2.22	1.66	0.839
老研式活動能力指標	points	0.15	0.69	0.39	1.39	0.596

・数値は介入後と介入前の差を示す。

表 6-3. 介入前後の変化：バランステスト

測定項目	単位	介入群 (n=13)		対照群 (n=13)		P値
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
開眼総軌跡長	cm	6.72	14.28	0.79	13.54	0.288
開眼動揺面積	cm ²	0.00	0.85	-0.09	1.80	0.867
閉眼総軌跡長	cm	7.12	22.14	-4.79	22.35	0.185
閉眼動揺面積	cm ²	-0.08	1.57	-0.52	1.46	0.473
functional reach	cm	0.50	3.82	1.97	5.20	0.420
timed up and go	s	-0.68	1.08	-0.24	1.02	0.296
片足立ち	s	-4.96	17.16	-8.61	20.32	0.625
普通速度-速度	m/s	0.02	0.26	-0.07	0.20	0.368
普通速度-歩幅	m	0.04	0.07	-0.02	0.07	0.049
普通速度-歩行率	steps/min	-13.09	21.33	-12.32	11.84	0.910
最大速度-速度	m/s	0.08	0.14	0.13	0.23	0.520
最大速度-歩幅	m	-0.01	0.04	-0.01	0.08	0.851
最大速度-歩行率	steps/min	8.88	23.39	6.46	31.62	0.826
SOT総合得点	points	1.96	5.01	2.52	5.11	0.780
MCT平均潜時	ms	1.62	5.17	0.15	7.34	0.563

・数値は介入後から介入前の差を示す。

¹⁾ SOT総合得点：EquiTestを用い、開眼あるいは閉眼、起立台または前景が前後に移動あるいは傾斜するなど組み合わせた6条件における重心動揺の合計得点。

²⁾ MCT平均潜時：EquiTestを用い、前方または後方に起立台を水平移動させる4条件で行った時の平均潜時。

表6-4. 介入前後の変化；等速性筋力

測定項目	単位	介入群 (n=13)		対照群 (n=13)		P値
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
膝屈曲60° /s ピークトルク	Nm/kg	0.05	0.12	0.02	0.17	0.675
膝屈曲180° /s ピークトルク	Nm/kg	0.11	0.12	0.01	0.13	0.050
膝伸展60° /s ピークトルク	Nm/kg	0.01	0.19	-0.05	0.17	0.381
膝伸展180° /s ピークトルク	Nm/kg	0.01	0.16	-0.05	0.14	0.279
足背屈60° /s ピークトルク	Nm/kg	-0.01	0.05	0.01	0.06	0.270
足背屈180° /s ピークトルク	Nm/kg	0.01	0.05	0.03	0.05	0.364
足底屈60° /s ピークトルク	Nm/kg	-0.02	0.10	-0.05	0.19	0.612
足底屈180° /s ピークトルク	Nm/kg	0.01	0.06	-0.02	0.10	0.497

・ 数値は介入後から介入前の差を示す。

第5節 考察

本研究はバランス運動による介入がバランス能力に及ぼす影響を明らかにするために無作為化比較試験を実施したところ、通常歩行の歩幅の改善がみられた。通常歩行の歩幅の改善は、歩行中に支持脚を安定させることができたために遊脚を大きく振り出すことができた結果であると推察できる。しかしながら、通常歩行の歩幅の改善は見られたが、通常歩行の速度の改善にまで至らなかったことは歩容の改善が十分に達成したとはいえない。運動介入によって通常歩行の歩幅が改善する報告はあるので (Weerdesteyn et al 2008; Silsupadol et al. 2009)、本研究は先行研究の結果を確認したことになる。本研究で改善された通常歩行の歩幅は新たな支持基底面上に立位姿勢を安定させる動的バランス能力を反映するテストであることから、本研究の運動介入は動的バランス能力を向上させたと言える。

運動介入によって静的バランス能力 (Lord et al. 1995; Shumway-cook et al. 1997; Li et al. 2005)、動的バランス能力 (Shumway-cook et al. 1997; Wolf et al. 1997; Shigematsu et al. 2002)、外乱応答バランス能力 (Binder et al. 1994; Wolf et al. 1997; 中谷ら 2001)はいずれも運動介

入によって向上することが既に報告されている。しかしながら、運動介入によっていずれのバランス能力が向上するかに関する研究は少ない（大淵ら 2004; Shimada et al. 2004; 島田と内山 2001）。静的バランス能力と動的バランス能力の介入効果を比較すると、動的バランス能力は向上するが、静的バランス能力は向上しない報告がある（Seidler & Martin 1997; 中谷ら 2001）。動的バランス能力と外乱応答バランス能力の介入効果を比較すると、動的バランス能力は向上するが、外乱応答バランス能力は向上しない報告がある（島田と内山 2001; Shimada et al. 2003）。このように、バランス能力の下位構造である静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力を比較した場合、運動介入によって動的バランス能力が最も向上すると言えるだろう。本研究では静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力を反映するバランステストを用いてバランス運動の介入効果を検証し、先行研究と同様に動的バランス能力の改善を確認した。

動的バランス能力の改善の背景に、体性感覚機能の向上が示唆されている。Xu et al. (2004)によると、太極拳などのバランス運動を行っている高齢者の体性感覚機能は水泳やジョギングを行っている者あるいは身体活動

を活発に行っていない者よりも優れていることを明らかにした。立位姿勢の安定には視覚、体性感覚、前庭の感覚情報をもとに中枢神経系で命令し、適切な筋活動、あるいは関節運動を生じる。前章で述べたように、高齢者は視覚に依存するが、バランス運動による体性感覚の向上は、より立位姿勢の安定に寄与する点で重要である。

本研究では動的バランス能力の改善がみられたが、静的バランス能力と外乱応答バランス能力の改善を示さなかった。静的バランス能力は運動介入によって改善しない報告もある (Seidler & Martin 1997; 中谷ら 2001)。本研究の対象者は地域在住高齢者の中でも老研式活動能力指標で評価したように高い生活機能を有する集団であった。また、多数の地域在住の女性高齢者 (n=140) を対象にした今岡ら (1997) の報告 (65-75歳未満) と本研究の運動介入群の静的バランステストの成績を比較したところ、開眼の外周面積は 3.1cm^2 対 2.3cm^2 、閉眼の外周面積は 4.2cm^2 対 2.9cm^2 と、いずれも本研究の運動介入群の静的バランス能力が優れている傾向を示した。このために、本研究の対象者の静的バランス能力は既に高い水準にあったため、静的バランス能力の改善が見られなかったと推察される。一方、運動介入による外乱応答バランス能力は改善しない報告と改善する報告があり、一致はしていな

い。島田と内山（2001）は施設利用者を対象に片足立ち・継ぎ足歩行等を用いた運動介入を行ない、対象者の背中を押すことによる反応で評価した外乱応答バランス能力は改善しなかったと報告している。一方、大淵ら（2004）やShimada et al.（2004）は虚弱高齢者を対象に転倒刺激付きトレッドミルを用いた運動介入を行い、前脛骨筋の反応潜時で評価した外乱応答バランス能力は改善したと報告している。このように相反する報告は、対象者のバランス能力水準や外乱刺激の強さに問題があると言わざるを得ない。しかしながら、対象者のバランス能力水準や外乱刺激の強さを比較した研究がないので、今後、検討を要する。

本研究は運動介入によって等速性膝屈曲力が向上する傾向を示したが、介入前の等速性膝屈曲力といずれのバランステストの成績との相関は有意ではなかった。また介入後のいずれのバランステストの変化量と等速性膝屈曲力の間でも有意な相関はみられなかった。従来報告では、介入前の筋力とバランス能力、介入後の筋力の増加とバランス能力の向上がいずれも関連することが示されている（新井ら 2003; Shimada & Uchiyama 2003）。一方、介入前の筋力とバランス能力の関連はなく、介入後も筋力とバランス能力は関連しない報告もある（Wolfson et al. 1996; Chandler et al.

1998)。このように、バランス能力の改善の背景に筋力関与の有無が議論されているが、本研究の結果は筋力の関与を否定している。すなわち、本研究の動的バランス能力の改善に筋力向上による影響は少ないと推察した。

本研究ではバランス運動を頑張らないで、楽しく行うことを念頭におき、参加者の達成感や継続性を高め、高い出席率と脱落者の減少を期待した。今回の出席率は介入群で 80.6%であり、地域在住の高齢者を対象にした他の介入研究の 71-79%とする先行研究 (Lord et al. 1995; 1996; Shigematsu et al. 2002; Li et al. 2005; 郭ら 2007)と同程度であった。また脱落率においても 15.3%に対して 10-36%とする先行研究 (Campbell et al. 1997; Lord et al. 1995; Li et al. 2005)とほぼ同程度であり、継続性の高い運動であった。

第6節 要約

本研究は運動介入が地域在住の高齢者の静的バランス能力、動的バランス能力、外乱応答バランス能力に及ぼす影響を無作為化比較試験で検証した。対象は高齢女性 26 名であり、年齢および歩行速度の成績をもとに介入群 (n=13) と対照群 (n=13) に無作為に分類し、介入群はバランス運動を週 1 回、対照群はストレッチ運動を月 1 回の頻度で 24 週間実施した。バランス能力は静的バランス能力を重心動揺と片足立ち、動的バランス能力を functional reach、timed up and go、歩行、外乱応答バランス能力を EquiTest で評価した。介入前における介入群および対照群はすべてのバランステストおよび等速性最大筋力で相違がなかった。24 週間の運動介入の結果、介入群で通常速度歩行の歩幅のみが改善した。改善した通常速度歩行の歩幅は膝関節の屈曲・伸展時、あるいは足関節の背屈・底屈時の筋力と有意な相関を認めなかった。バランス運動を用いた運動介入は動的バランス能力を改善させるが、静的バランス能力や外乱応答バランス能力の改善にはつながらない。また動的バランス能力の改善は筋力向上の影響は少な

いと言える。

第7章 総括と将来の課題

第1節 総括

本研究は、地域在住の女性高齢者の転倒による要介護を予防するために、高齢者のバランス能力を包括的に評価するだけでなく、若年者と高齢者のバランス能力の相違から加齢に伴うバランス能力の低下の特徴を明らかにすること、さらに運動介入によるバランス能力の改善を明らかにするために実施した。

設定した研究課題の結果から、若年者と高齢者に共通するバランス能力の因子構造を明らかにすることができ、同時にバランス能力の因子構造に及ぼす加齢の影響を明らかにした、さらに、バランス運動による介入がバランス能力の改善効果も明らかにすることができた。よって、本研究のバランス能力の因子構造に基づいた評価は、有効であると結論した。

主な知見は以下の通りである。

- (1) 本研究で用いたバランステストである重心動揺、片足立ち、

functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestのうち、重心動揺が最も加齢による低下を示す。

- (2) バランス能力は若年者、高齢者ともに重心動揺で評価される静的バランス能力、timed up and go や歩行で評価される動的バランス能力、EquiTest で評価される外乱応答バランス能力から構成される。
- (3) バランス能力は若年者では外乱応答バランス能力、高齢者では静的バランス能力によって特徴づけられる。
- (4) 高齢者を対象とした運動介入で改善するバランス能力は、動的バランス能力である。

第2節 研究の限界

本研究がもたらした知見には、いくつかの研究上の限界のもとに成立したことを明記しなければならない。

第1に、本研究はバランス能力の構成概念を実証するために、Gentileの運動課題の考えに基づいてバランステストを選択した。しかし、バランス能力を評価するために、筋電図を用いて下肢筋の同時収縮で評価する、また、予測姿勢制御を用いて評価するなど、異なるアプローチがあるが、これらを含めていない限界がある。

第2に、人数による限界がある。本研究の標本数は若年者および高齢者それぞれ60名に設定したが、因子分析を用いる集団の標本数としては充分ではない。

第3に、対象者の限界がある。本研究のほとんどの対象者は健康で活動的な高齢者であるために、高齢者全体からみれば偏りのある集団であり、且つ、平均年齢は69歳と前期高齢者に位置づけられ、75歳以上の後期高齢者は含まない。また、本研究では女性のみを対象としたが、男性を含めていない。同時に、本研究のバランス能力の因子構造が障害を有する高齢者や介助

が必要な高齢者に適応できるか、限界があると言わざるを得ない。

第4に、採用したバランステストの種類による限界がある。本研究は先行研究で信頼性と妥当性が検証され、高齢者が転倒や転倒の恐怖心を伴わないで完遂できるバランステストである、重心動揺、片足立ち、functional reach、timed up and go、歩行、EquiTestを選択した。また設定した研究課題は、対象者として協力頂いた高齢者の疲労をできるだけ軽減するために、測定時間が長くないように配慮したが、形態およびバランステストの測定を終えるのに対象者1人あたり2時間以上が必要であった。このために、すべてのバランステストは用いていない。

第3節 将来の課題

本研究の対象は前期高齢者に限られているために、第1の課題は75歳以上の後期高齢者や介助を要する高齢者を含めて研究を実施する。また、性別では女性のみを対象にしているために、第2の課題としては男性を含めた対象者で因子構造や性差を確認する必要がある。このように、幅広い生活機能を有する男女でバランス能力の因子構造を明らかにすることにより、加齢に関連する共通の因子を明らかにすることが期待される。第3の課題として、動的バランス能力の優劣と転倒の関連を前向き研究で追及していくことが残されている。

謝辞

稿を終えるにあたり、多くの方々に御指導を承り、またご支援頂きましたことに深甚なる謝意を表します。修士課程から博士課程までの5年間にわたり、主査であり指導教官である人間総合科学研究科体育科学専攻教授 衣笠隆先生には、心から感謝致します。ならびに同教授 高井省三先生におきましては副査を快く引き受け頂いたこと、そしてデータ解析では様々な御助言をして頂き、感謝致します。人間総合科学研究科心身障害学専攻教授 中田英雄先生におきましては、審査会および論文作成時に建設的な御意見を頂き、博士論文の実用的価値を高めることが出来ました。深く感謝申し上げます。人間総合科学研究科体育科学専攻准教授 木塚朝博先生におきましては、公私にわたり多大なアドバイスと研究の姿勢を学ばせて頂きましたことを感謝致します。

衣笠研究室及び木塚研究室の皆様にも多くのご協力と御助言を頂いたことに感謝致します。

最後に私の研究生生活を陰ながら支援してくれた妻に感謝します。

引用文献

Alexander, N. B., Shepard, N., Gu, M. J., Schulz, A. (1992). Postural control in young and elderly adults when stance is perturbed kinematics. *Journal of Gerontology, Medical Science*, 47, 79-87.

新井武志, 大淵修一, 柴喜崇, 島田裕之, 後藤寛司, 大福幸子, 二見俊郎 (2003). 高負荷レジスタンストレーニングを中心とした運動プログラムに対する虚弱高齢者の身体機能改善効果とそれに影響する身体・体力諸要素の検討. *理学療法学*, 30, 377-385.

浅井剛, 前川匡, 北潔 (2007). 整形外科外来における転倒リスク評価バッテリーの作成. *神戸学院総合リハビリテーション研究*, 2, 43-48.

Aslan, B. U., Cavlak U, Yagci, N., Akdag, B. (2008). Balance performance, aging and falling. A comparative study based on a Turkish sample. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 46, 283 -292.

Bauer, C., Groger, I., Rupprechi, R., Gabmann, G. K. (2008). Intrassession reliability of force parameters in

community-dwelling older adults. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1977-1983.

Berg, O. K., Wood-Dauphinee, S., Williams, J., Maki, B. E. (1992).

Measuring balance in the elderly: Validation of an instrument.

Canadian Journal of Public Health, 83, 7-11.

Berg, W. P., Alessio, H. M., Mills, E. M., Tong, Chen. (1997).

Circumstances and consequences of falls independent

community-dwelling older adults. Aging and Aging, 261-268.

Bergstrom, B. (1973). Morphology of the vestibular nerve: II. The

number of myelinated vestibular nerve fibers in man at various

age. Acta oto-laryngologica, 76, 173-179.

Berkman, F. L., Seeman, E. T., Albert, M., Blazer, D., Kahan, R., Mohs,

Richard., Finch, C., Scheneider, E., Cotman, C., Mcclearn, G.,

Nesseleroad, J., Featherman, D., Garmezy, N., McKhann, G.,

Brim, G., Prager, D., Rowe, J. (1993). High, usual and impaired

functioning in community-dwelling older men and women:

Findings from the Macarthur foundation research network on

successful aging. *Journal of Clinical Epidemiology*, 46, 1129-1140.

Binda, S. M., Culham, E. G., Brouwer, B. (2003). Balance, muscle strength, and fear of falling in older adults. *Experimental Aging Research*, 205-219.

Binder, E. F., Brown, M., Craft, S., Schechtman, B, Kenneth, Birge, S. J. (1994). Effects of a group exercise program on risk factors for falls in frail older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2, 25-37.

Blum, L., Korner-Bitensky, N. (2008). Usefulness of the berg balance scale in stroke rehabilitation: A systematic review. *Physical Therapy*, 88, 559-566.

Bohannon, W. R. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79years: Reference values and determinants. *Age and Ageing*, 26, 15-19.

Bogle Thorbahn, D. L., Newton, A. R. (1996). Use of the berg balance test to predict falls in elderly persons. *Physical Therapy*, 76,

576-583.

Bohhannon, R. W., Larkin, P. A., Cook, A. C., Gear, J. and Singer, J.

(1984). Decrease in timed balance test scores with aging.

Physical Therapy, 64, 1067-1070.

Browne, J., O' Hare, N., O' Hare, G., Finn, A., Colin, J. (2002).

Clinical assessment of the quantitative posturography system.

Physiotherapy, 88, 217-223.

Camicioli, R., Panzer, P. V., Kaye, J. (1997). Balance in the healthy

elderly. Posturography and clinical assessment. Archives

Neurology, 54, 976-981.

Campbell, J. A., Robertson, C. M., Gardner, M. M., Norton, R. N., Tilyard,

M. W. (1997). Randomized controlled trial of a general practice

program of home based exercise to prevent falls in elderly women.

BMJ, 25, 1065-1069.

Campbell, J.A., Robertson, M. C., Gardner, M. M., Norton, N. R.,

Bunchner, M. D. (1999). Falls prevention over 2 years: a

randomized controlled trial in women 80years and older. Age and

Aging, 28, 513-518.

Cavanaugh, T. J., Shinberg, M., Ray, Lauie., Shipp, M. K., Kuchibhatla, M., Margaret, S. (1999). Kinematic characterization of standing reach: Comparison of younger vs. older subjects. Clinical Biomechanics, 14, 271-279.

Chandler J. M., Duncan, P. W., Kohersberger, G., Studenski, S. (1998). Is lower extremity strength gain associated with improvement in physical performance and disability in frail, community-dwelling elders? Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 79, 24-30.

Cho, BL., Scarpace, D., Alexander, B. N. (2004). Test of stepping as indicators of mobility, balance, and fall risk in balance-impaired older adults. American Journal of Geriatrics Society, 52, 1168-1173.

Cohen H, Heaton, G. L., Congdon, L. S., Jenkins, A. H. (1996). Changes in sensory organization test scores with age. Age and Ageing, 25, 39-44.

- Curb, D. J., Ceria-Ulep, D. C., Rodriguez, L. B., Grove, J., Guralnik, J., Willcox, J. B., Donlon, A. T., Masaki, H. K., Chen, R. (2006). Performance-based measures of physical function for high-function populations. *Journal of American Geriatrics Society*, 54, 737-742.
- Dargent, P. M., Favier, F., Grandjean, H., Baudoin, C., Schott, M. A., Hausherr, E., Meunier, J. P., Breart, G. (1996). Fall-related factors and risk of hip fracture: The EPIDOS prospective study. *Lancet*, 348, 145-149.
- Daubney, M. E., Gulhan, E. G. (1999). Lower-extremity muscle force and balance performance in adults aged 65 years older. *Physical Therapy*, 79, 1177-1185.
- Di Fabio, P. R. and Seay, R. (1997). Use of the 'fast evaluation of mobility, balance, and fear' in elderly community dwellers: Validity and Reliability. *Physical Therapy*, 77, 904-917.
- Dimitrijevic, R. M., Larsson, E. L. (1981). Neural control of gait: clinical neurophysiological aspects. *Applied Neurophysiology*,

44, 152-159.

Duncan, W. P., Weiner, K. D., Chandler, J., Studenski, S. (1990).

Functional reach: a new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology*, 45, 192-197.

Duncan, W. P., Studenski, S., Chandler, S., Prescott, B (1992).

Functional reach: Predictive validity in a sample of elderly male veterans. *Journal of Gerontology*, 47, 93-98.

Du Pasquier, A. R., Blanc, Y., Sinnreich, M., Landis, T., Burkhard, P.,

Vingerhoets, J. F. (2003). The effect of aging on postural stability: a cross sectional and longitudinal study.

Neurophysiologie Clinique, 33, 213-218.

江藤 文夫 (1984). 老年者と転倒. *Geriatric Medicine*, 22, 779-783.

Forth, K. E., Metter, E. J., Paloski, H. W. (2007). Age associated

differences in postural equilibrium control: A comparison between EQscore and minimum time to contact (TTCmin). *Gait & Posture*, 25, 56-62.

Fregly, R. A., Smith, J. M, Graybiel, A. (1973). Revised normative

standards of performance of men on a quantitative ataxia test battery. *Acta Oto-laryngologica*, 75, 10-16.

Gawron, W., Pospiech, L., Orendorz-Fraczkowska, K., Noczynska, A (2002).

The influence of metabolic disturbances present in diabetes mellitus type I on vestibule-spinal reflexes in children and young adults. *Otolaryngology Polish*, 56, 451-457.

藤澤宏幸、武田涼子、植木章三、河西敏幸、高戸仁郎、島貫秀樹、本田晴彦、

芳賀博 (2005). 地域高齢者におけるサイドステップ長と運動能力および転倒との関係. *理学療法学*, 32, 391-399.

Fujiwara, K., Asai, H., Toyama, H., Kunita, K. (1999). Perceptibility

of body position of movement and perception of angle of trunk flexion while standing with eyes closed. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 581-589.

古名丈人、長崎浩、伊藤元、橋詰謙、衣笠隆、丸山仁司 (1995). 都市およ

び農村地域における高齢者の運動能力. *体力科学*, 44, 347-356.

Gentile, A. (1992). The nature of skill acquisition: Therapeutic

implications for children with movement disorders. In:

Forssberg, H., Hirshfeld, H., editors. Movement disorders in children. Medical Sports Science, Baseel: Karger, 31-40.

Giorgetti, M. M., Harris, A. B., Jette, A. (1998). Reliability of clinical balance outcome measures in the elderly.

Physiotherapy Research International, 3, 274-283.

Graafmans, C. W., Otoms, E. M., Hofstee, M. H., Bezemer, D. P., Bouter, M. L., Lips, P. (1996). Falls in the elderly: a prospective study of risk factors and risk profiles. American Journal of Epidemiology, 143, 1129-1136.

郭輝, 牛凱軍, 矢野秀典, 小嶋恭子, 中島絹絵, 王芸, 本川亮, 鈴木玲子, 藤田和樹, 齋藤輝樹, 永富良一 (2007). 太極拳及びカンフー体操を取り入れた転倒予防トレーニングの体力低下高齢者の体力に及ぼす効果の検証. -従来型転倒予防トレーニングとの比較-. 体力科学, 56, 241-259.

芳賀博 (1997) 地域の高齢者における転倒・骨折に関する総合的研究. 平成7年度-平成8年度科学研究補助金研究成果報告書. 124-136.

Haga, H., Shibata, H., Shichita, K., Matsuzaki, T., Hatano, S. (1986).

Falls in the institutionalized elderly in Japan. Archives of Gerontology and Geriatrics, 5, 1-9.

Harada, N., Chiu, Vicki., Fowler, Eileen., Lee, Martin., Reuben, B. D. (1995). Physical therapy to improve functioning of older people in residential care facilities. Physical Therapy, 75, 54-62.

橋詰謙、伊藤元、丸山仁司、斉藤宏、石川誠 (1986). 立位保持能力の加齢変化. 日本老年医学会雑誌, 23, 85-91.

Hauck, J. L., Carpenter, G. M., Frank, S. J. (2008). Task-specific measures of balance efficacy, anxiety, and stability and their relationship to clinical balance performance. Gait & Posture, 27, 676-82.

Hausdorff M. J., Rios A. D., Edelberg, H. K. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 82, 1050-1056.

Hess, J. A. and Woollacott, M. H. (2005). Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in

balance impaired older adults. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.*, 28, 582-590.

平井陽子、白木仁、覚張秀樹、向井直樹、八十島崇、宮永豊 (2004). バランスボールトレーニングが平衡機能に与える影響. *臨床スポーツ医学*, 21, 677-683.

Hirsh, J. M. (1959). Changes in astigmatism after age of forty. *American Journal of Optometry*, 36, 395-403.

Horak, B. F. (1997). Clinical assessment of balance disorders. *Gait & Posture*, 6, 76-84.

Horak, F., Moore, S. (1989). Lateral postural response: The effect of stance width and perturbation amplitude. *Physical Therapy*, 69, 363.

Horak, B. F., Shupert, L. C., Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiological Aging*, 10, 727-738.

Hu, H. M., and Woollacott, M. H. (1994). Multisensory training of standing balance in older adults: I. Postural stability and

one-leg stance balance. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 49, 52-61.

Hughes, C., Osman, C., Wood., K. A. (1998). Relationship among performance on stair ambulation, functional reach, and timed up and go tests in older adults. *Issue on Aging*, 21, 18-22.

Hurvitz, A. E., Richardson, K. J., Werner, A. R., Ruhl, M. A., Dixon, R. M. (2000). Unipedal stance testing as an indicator of fall risk among older outpatients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81, 587-591.

Howland, J., Lachman, E. M., Peterson, W. E., Cote, J., Kastern, L., Jette, A. (1998). Covariates of fear of falling and associated activity curtailment. *Gerontologist*, 38, 549-555.

猪飼哲夫, 上久保毅, 武原格, 西将則, 宮野佐年 (2002). 中高年者の動的バランス機能評価. *リハビリテーション医学*, 39, 311-316.

Islam, M. M., Nasu, E., Rogers, M. E., Koizumi, D., Rogers, N. L., Takeshima, N. (2004). Effects of combined sensory and muscular training on balance in Japanese older adults. *Preventive*

Medicine, 39, 1148-1155.

伊藤元, 長崎浩, 丸山仁司, 橋詰謙, 中村隆一 (1990). 健常老年者における最大歩行速度低下の決定因, -重心動揺と歩行率の関連-. 理学療法学, 17, 123-125.

Johnson, L., Hawkins, J. E. (1972). Sensory and neural degeneration with aging, as seen in microdissections of the human inner ear. Annual Otology, 891, 179-193.

Judge, O. J., King, B. M., Whipple, R., Clive, J., Wolfson, I. L. (1995). Journal of Gerontology, Medical Sciences, 50A, 263-270.

上岡洋晴, 岡田真平, 武藤芳照, 征矢野あや子, 中西和仁, 半田秀一, 小松泰喜, 上内哲男, 奥泉宏康 (2003). 転倒恐怖者の移動能力と生活環境に関する研究. 身体教育医学研究, 4, 21-26.

上岡洋晴, 武藤芳照, 太田美穂, 岡田真平 (2001). 健脚度を用いた在宅高齢者の転倒のスクリーニング. 身体教育医学研究, 2, 2-7.

加納克己 (1997) 中部地区の高齢者における転倒・骨折の実態. 平成7年度 -平成8年度科学研究費補助金基盤研究 A[1]研究成果報告書地域の高齢者における転倒, 34-50.

Kerschman-Schindl, K Uher, E, Grampp, S., Kaider, A., Ghanem, H. A.,
Fialka-Moser, V., Preisinger, E. (2001). A neuromuscular test
battery for osteoporotic women. American Journal of Physical
Medicine, 80, 351-357.

狩野裕(1997). AMOS, EQS, LISREL によるグラフィカル多変量解析-目で見
る共分散構造分析. 京都市：現代数学社.

金禧植, 稲垣敦, 田中喜代次, 芳賀脩光, 松浦義行 (1992). 中・高年齢者
における運動能力の因子構造とその性差. いばらき体育・スポーツ
科学, 8, 1-10.

金禧植, 胡秀英, 吉田英世, 湯川晴美, 鈴木隆雄 (2003). 介護保険制度に
おける後期高齢支援者の生活機能の特徴. 日本公衆衛生雑誌, 5,
446-454.

金俊東、久野譜也、相馬りか、増田和実、足立和隆、西嶋尚彦、石津雅雄、
岡田守彦 (2000). 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす
影響. 体力科学, 49, 589-596.

衣笠隆、芳賀脩光、江崎和希、古名丈人、杉浦美穂、勝村俊仁、大野秀樹
(2005). 低体力高齢者の体力、生活機能、健康度に及ぼす運動介入

の影響（無作為化比較試験による場合）。日本運動性学雑誌，12，
63-73.

衣笠隆、長崎浩、伊藤元、伊藤元、橋詰謙、古名丈人、丸山仁司（1994）。男
性(18-83歳)を対象にした運動能力の加齢変化の研究。体力科学，
43， 343-351.

北畑恵理，國峯明子，見目澄子，鈴木麻里子，野田麻子，丸山仁司（2003）。
動的バランス評価としての平均台歩行テスト。理学療法科学，18，
83-88.

Klein, J. P. and Adams, D. W. (2004). Comprehensive therapeutic benefits
of Taiji: a critical review. American Journal of Physical
Medicine & Rehabilitation , 83, 735-745.

古西勇，押木利英子，小林量作，黒川幸雄，山崎直美，矢澤由佳里，長谷
川琴江，関清美，長岡輝之，立石学，山本智章（2003）。高齢女
性における健脚度と膝伸展筋力の横断的調査。新潟医療福祉学会
誌，3， 117-122.

厚生統計協会（2008）。国民の福祉の動向。厚生指標，55，pp144，厚生労
働省。

- Koyano, W., Shibata, H., Nakazato, K., Haga, H., Suyama, Y. (1991).
Measurement of competence: Reliability and validity of the TMIG
Index of Competence. *Archives of Gerontology and Geriatrics*,
13, 103-116.
- Lafond, D., Corriveau, H., Hebert, R., Prince, F. (2004, *Arcives of*
Physical Medicine and Rehabilitation, 2004, 85, 896-901.
- Large, J., Gan, N., Basic, D, Jennings, N. (2006). Using the timed up
and go test to stratify elderly inpatients at risk of falls.
Clinical Rehabilitation, 20, 421-428.
- Laughton A. C., Slavin M., Katdare, K., Nolan, L., Bean, F. J., Kerrigan,
C. D., Phillips, E., Lipsitz, A. L., Collins, J. J. (2003).
Aging, muscle activity, and balance control: physiologic
changes associated with balance impairment. *Gait & Posture*, 18,
101-108.
- Legters, K. (2002). Fear of falling. *Physical Therapy*, 82, 264-272.
- Lord R. S., Ward, A. J. (1994). Age-associated differences in
sensori-motor function and balance in community dwelling women.

Age and Aging, 23, 452-460.

Lord, R. S., Ward, J. A., Williams, P., Strudwick, M. (1995). The effect of a 12-month exercise trial on balance, strength, and falls in older women: A randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43, 1198-1206.

Lord, R. S., Ward, J. A., Williams, P (1996). Exercise effect on dynamic stability in older women: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77, 232-236.

Li, F., Harmer, P., Fisher, J. K., McAuley, E., Chaumeton, N., Eckstrom, E., Wilson, N. L. (2005). Tai chi and fall reductions in older adults: a randomized controlled trial. *Journals of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 60, 187-194.

Lin, R. M. (2004). Psychometric comparison of the timed up and go, one-leg stand, functional reach, and tinetti balance measures in community-dwelling older people. *Journal of American Geriatrics Society*, 52, 1343-1348.

Liu, CS., Hsu, HM., Cheng, WL., Hsieh, M. (2005). Clinical and molecular events in patients with Machado-Joseph disease under lamotrigine therapy. *Acta Neurologica Scandinavica*, 111, 385-390.

Maki, E. B., Holliday, J. P., topper, K. A. (1994). A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *Journal of Gerontology*, 49, 72-84.

Maki, E. B. (1997). Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear ? *Journal of the American Geriatrics Society*, 45, 313-320.

Maki, E. B., and Ostrovski, G. (1993). Scaling of postural responses to transient and continuous perturbations. *Gait & Posture*, 1, 93-104.

Manckoundia, P., Thomas, F., Buatois, S., Guize, L., Jago, B., Aquino, JP, Benetos, A. (2008). Impact of clinical, psychological and social factors on decreased tinetti test score in

community-living elderly subjects: A prospective study with two-year follow-up. *Medical Science Monitor*. 14, 316-322.

眞野行生、中根里江、渡辺一郎 (2000). 高齢者の歩行と転倒の実態, 高齢者の転倒とその対策 (眞野行生編), 医歯薬出版, 東京, pp8-12.

Mecagni, C., Smith, P. J., Roberts, E. K., O' Sullivan, B. S. (2000). Balance and ankle range of motion in community-dwelling women aged 64-87 years: A correlational study. *Physical Therapy*, 80, 1004-1011.

Muir, W. S., Berg, K., Chesworth, B., Speechley, M. (2008). Use of the berg balance scale for predicting multiple falls in community-dwelling elderly people: A prospective study. *Physical Therapy*, 88, 449-459.

Murray, M. P., Seireg, A. A., Sepic B. S. (1975). Normal postural stability and steadiness: quantitative assessment. *Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 57, 510-517.

村田伸, 津田彰, 稲谷ふみ枝, 田中芳幸 (2005). 在宅障害高齢者の転倒に影響を及ぼす身体および認知的要因. *理学療法学*, 32, 88-95.

武藤芳照 (1997). 変形性膝関節症の発生と体型・体力との関連についての疫学的研究. 整形外科, 48, 365-370.

中村一平、奥田昌之、鹿毛治子、國次一郎、杉山真一、芳原達也、浅海岩生 (2006). ファンクショナルリーチテストとその他のバランス評価法との関係. 理学療法学, 21, 335-339.

中村隆一, 斎藤宏, 長崎浩 (2003). 基礎運動学, 第6版, 東京: 医歯薬出版株式会社.

新野直明、安村誠司、芳賀博、上野春代、太島美栄子、樋口洋子 (1995). 農村部在宅高齢者を対象とした転倒調査: 季節別にみた転倒者の割合と転倒発生状況. 日本公衆衛生雑誌, 42, 975-981.

中谷敏昭, 芳賀脩光, 岡本希, 車谷典男 (2008). 一般在宅健常高齢者を対象としたアップアンドゴーテストの有用性. 日本運動生理学雑誌, 15, 1-10.

中谷敏昭, 灘本雅一, 森井博之. 身体動揺に及ぼすバランスボール・トレーニングの効果. 体力科学, (2001), 50, 643-646.

Nagasaki, H., Itoh, H., Furuna, T. (1995). A physical fitness model of older adults. Aging Clinical Experimental Research, 7,

392-397.

Nashner, L. (1976). Adapting reflexes controlling the human posture.

Experimental Brain Research, 26, 59-72.

Nelson, E. M., Layne, E. J., Bernstein, J. M., Nuernberger, A.,

Castaneda, C., Kaliton, D., Hausdorff, J., Judge, O. J.,

Buchner, M. D., Roubenoff, R., Fiatarone Singh, A. M.

(2004). The effects of multi-dimensional home-based exercise on

functional performance in elderly people. Journal of

Gerontology, 59A, 154-160.

Newton, A. R. (1997). Balance screening of an inner city older adult

population. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation,

78, 587-591.

Nutts, G. J., Marsden, D. C., Thompson, D. H. (1993). Human walking and

higher level gait disorders, particularly in the elderly.

Neurology, 43, 268-279.

O' Connor W. K., Loughlin J. P., Redlfern, S. M., Sparto, J. P. (2008).

Postural adaptations to repeated optic flow stimulation in

older adults. *Gait & Posture*, 28, 385-391.

小田清一、岡本幹三 (1989). 日本人の体力標準値の設定に関する研究. 厚生
生の指標, 36, 21-29.

Okada, S., Hirakawa, K., Takada, Y., Kinoshita, H. (2001). Relationship
between fear of falling and balance ability during abrupt
deceleration in aged women having similar habitual physical
activities. *European Journal of Applied Physiology*. 85, 10-18.

岡田真平, 上岡洋晴, 小林佳澄, 渡辺恵美子, 翠川洋子 (2001). 農村在住
高齢者の移動能力・バランス能力とその関連事項に関する考察—北
御牧村研究—. *身体教育医学研究*, 2, 13-20.

大淵修一, 小島基永, 柴喜崇, 島田裕之, 鈴木隆雄 (2004). 地域在住高齢
者を対象とした転倒刺激付きトレッドミルトレーニングのバラン
ス機能改善効果～無作為化比較対照試験～. *日本老年医学会雑誌*,
41, 321-327.

Overstall W. P., Exton-smith, N. A., Imms, J. F. (1977). Falls in the
elderly related to postural imbalance. *British Medical Journal*,
29, 261-264.

- Podsiadlo, D., and Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go" : a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39, 142-148.
- Potter, M. J., Evans, L. A., Duncan, G (1995). Gait speed and activities of daily living function in geriatric patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76, 997-999.
- Prakash, C., Stern, G. (1974). Neurological signs in the elderly. *Age Ageing*, 2, 24-27.
- Province, M. A., Hadley, E. C., Hornbook, M. C., Lipsitz, L. A., Miller, P. J., Mulrow, C. D., Ory, M. G., Sattin, R. W., Tinetti, M. E., Wolf, S, L. (1995). The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned Meta-analysis of FICSIT trials. *Journal of The American Medical Association*, 273, 1341-1347.
- Pyykko, I., Aalto H., Hytonen, H., Starck, J., Jantti, P., Ramsay, H. (1988). Effect of age on postural control. In: 9th 20 IPGR, Series, 812, 95-104.
- Raiche, M. (2000). Screening older adults at risk of falling with the

tinetti balance scale. *Lancet*, 356, 1001-1002.

Rogers, E. M., Fernandez, E. J., Bohlken, M. R. (2001). Training to reduce postural sway and increase functional reach in the elderly. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 11, 291-298.

Rubenstein, Z. L., Robbins, A. S., Schulman, B. L., Rosado, J., Osterweil, D. and Josephson, K. R. (1988). Falls and instability in the elderly. *American Geriatrics Society*, 36, 266-278.

Rubenstein, Z. L., Josephson, R. K. (2002). Falls and instability in the elderly. *Clinics in Geriatric Medicine*, 18, 141-158.

Schrager, A. M., Kelly, E. V., Price, R., Ferrucci, Luigi., Shumway-Cook, A. (2008). The effects of age on medio-lateral stability during normal and narrow base walking. *Gait and Posture*, 28, 466-471.

Seidler, R. D. and Martin, P. E. (1997). The effects of short term balance training on the postural control older adults. *Gait & Posture*, 6, 224-236.

Sheldon, H. J. (1963). The effect of age on the control of sway.

Gerontologia Clinica, 5, 129-138.

Shepard, N. T., Schutz, A., Alexander, N. B., Gu, M. J., Boismier, T.

(1993). Postural control in young and elderly adults when stance is challenged: Clinical versus laboratory measurements.

Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology, 102, 508-517.

Shigematsu, R., Chang, M. L., Yabushita, N., Sakai, T., Nakagaichi, M.,

Nho, H., Tanaka, K. (2002). Dance-based aerobic exercise may improve indices of falling risk in older women. Age and Aging,

31, 261-266.

島田裕之, 大淵修一, 加倉井周一, 内山靖 (2000). 施設利用高齢者のバ

ランス機能と転倒との関係. 総合リハビリテーション, 28, 961-966.

Shimada, H., Obuchi, S., Furuna, T., Suzuki, T. (2004). New intervention

program for preventing falls among frail elderly people: the

effects of perturbed walking exercise using a bilateral

separated treadmill. American Journal of Physical Medicine &

Rehabilitation, 83, 493-499.

Shimada, H., Obuchi, S., Kamide, N., Shiba, Y., Okamoto, M., Kakurai, S. (2003). Relationship with dynamic balance function during standing and walking. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 82, 511-516.

島田裕之, 内山靖 (2001). 高齢者に対する3ヶ月間の異なる運動が静的・動姿勢バランス機能に及ぼす影響. *理学療法学*, 28, 38-46.

Shimada, H. and Uchiyama, Y. (2003). Specific effects of balance and gait exercises on physical function among the frail elderly. *Clinical Rehabilitation*, 17, 472-479.

島田裕之、古名丈人、大淵修一、杉浦美穂、吉田英世、金憲経、吉田祐子、西澤哲、鈴木隆雄 (2006a). 高齢者を対象とした地域保健活動における timed up & go test の有効性. *理学療法学*, 33, 105-111.

島田裕之, 内山靖, 原田和宏, 大淵修一, Stephen Lord, 鈴木隆雄 (2006b). 姿勢バランス機能の因子構造: 臨床的バランス機能検査による検討. *理学療法学*, 33, 283-288.

Shumway-Cook, A., Baldwin, M., Pollosar, N., Gruber, W. (1997). Predicting the probability of falls in community dwelling older

adults. *Physical Therapy*, 1997, 77, 812-819.

Shumway-Cook, A., Gruber, W., Baldwin, M., Liao, S. (1997). The effect of multidimensional exercises on balance, mobility, and fall risk in community-dwelling older adults. *Physical Therapy*, 77, 46-56.

Shumway-cook A, Brauer, S., Woollacott, H. M. (2000). Predicting the probability for falls in community dwelling older adults using the timed up & go test. *Physical Therapy*, 80, 896-903.

Silsupadol, P., Lugade, V., Shumway-cook, A., Donkelaar, P. V., Chou, L., Mayr, U., Woollacott, H. M. (2009). Training-related changes in dual-task walking performance of elderly persons with balance impairment: A double-blind, randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 29, 634-639.

下井俊典, 谷浩明 (2008). Bland-Altman 分析を用いた継ぎ足歩行テストの検者内・検者間信頼性の検討. *理学療法科学*, 23, 625-631.

Speers, A. R., Ashton-Miller, A. J., Schultz, B. A., Alexander, B. N. (1998). Age differences in abilities to perform tandem stand

and walk tasks of graded difficulty. *Gait and Posture*, 7, 207-213.

Speers, A. R., Kudo, D. A., Horak, B. F. (2002). Contributions of altered sensation and feedback responses to changes in coordination of postural control due to aging. *Gait & Posture*, 16, 20-30.

Spooner, J., Sakala, S., Baloh, R (1980). Effect of aging on eye tracking. *Archives Neurology*, 37, 575-576.

Stalenhoef, A. P., Diederiks, J. P., Knottnerus, A. J., Kester, D. A., Crebolder, F. H. (2002). A risk model for the prediction of recurrent falls in community-dwelling elderly: A prospective cohort study. *Journal of Clinical Epidemiology*, 55, 1088-1094.

Gatts, K. S. and Woollacott, H. M. (2006). Neural mechanisms underlying balance improvement with short term Tai Chi training. *Aging Clinical and experimental Research*, 18, 7-19.

Steffen, M. T., Hacker, A. T., Mollinger, L. (2002). Age- and Gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-minute walk test, berg balance scale, timed up &

go test, and gait speeds. *Physical Therapy*, 82, 128-137.

Stelmach, G. E., Worringham, C. (1985). Sensorimotor deficits related to postural stability: Implications for falling in the elderly. *Clinical Geriatric Medicine*, 1, 679-694.

杉浦美穂、長崎浩、古名丈人、奥住秀之 (1998). 地域高齢者の歩行能力—4年間の縦断変化—. *体力科学*, 47, 443-452.

鈴木隆雄 (2006). エビデンスに基づく高齢期の転倒予防戦略. *日本整形外科学会誌*, 80, 209-216.

Suzuki, T., Kim, H., Yoshida, H., Ishizaki, T. (2004). Randomized controlled trial of exercise intervention for the prevention of falls in community-dwelling elderly Japanese women. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 22, 602-611.

田井中幸司、船倉麻衣子、青木純一郎 (2004). 在宅高齢者の脚筋力および歩行能力の加齢変化. *理学療法学*, 31, 385-390.

Teasdale, N Stelmach, E. G., Breunig, A. (1992). Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *Journal of Gerontology*, 46, 238-244.

Terekov, Y. V. (1978). Instrumentation for automatic measurement and real time evaluation of men' s postural equilibrium. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 2, 182-186.

Thapa, B. Purushottam., Gideson, P., Brockman, G. K., Fought, L. R., Ray, A. W. (1996). Clinical and biomechanical measures of balance as fall predictors in ambulatory nursing home residents. *Journal of Gerontology*, 51A, 239-246.

Thomas, I. J. and Lane, V. J. (2005). A pilot study to explore the predictive validity of 4 measures of fall risk in frail elderly patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86, 1636-1640.

Tinetti, E. M. (1986a). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *Journal of American Geriatrics Society*, 34, 119-126.

Tinetti, E. M., Ginter, F. S. (1988). Identifying mobility dysfunctions in elderly patients. Standard neuromuscular examination or direct assessment ? *Journal of American Medical Association*,

259, 1190-1193.

Tinetti, E. M., Powell, L. (1993). Fear of falling and low self-efficacy: A cause of dependence in elderly persons. *Journal of Gerontology*, 48, 35-38.

Tinetti, E. M., Speechley, M., Ginter, F.S. (1988a). Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *England Journal of Medicine*, 319, 1701-1707.

Tinetti, E. M., and Williams, S. C. (1998). The effect of falls and fall injuries on functioning in community-dwelling older persons. *Journal of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 53, 112-119.

Tinetti, E. M., Williams, F. T., Mayewski, R. (1986b). Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities. *American Journal of Medicine*, 80, 429-434.

鳥羽研二、大河内二郎、高橋泰、松林公蔵、西永正典、山田思鶴、高橋龍太郎、西島令子、小林義雄、町田綾子、秋下雅弘、佐々木英忠、転倒ハイリスク者の早期発見の評価法作成ワーキンググループ

(2005). 転倒リスク予測のための「転倒スコア」開発と妥当性の検証. 日本老年医学会雑誌, 42, 346-352.

豊田禿樹 (1998). 共分散構造分析 (入門偏) -構造方程式モデリング-. 東京: 朝倉書店.

對馬均、對馬栄輝、對馬圭、奥村康成 (2006). ファンクショナルリーチの値は加齢によってどう変化するか?. 弘前大学医学部保健学部紀要, 5, 162-172.

植木章三、河西敏幸、高戸仁郎、坂本讓、島貫秀樹、芳賀博、伊藤常久、安村誠司、新野直明、小坂井留美、藪牟田洋美、中川由紀代 (2003). 地域在宅高齢者の転倒発生が体力および心身の機能に与える影響. 障害者スポーツ科学, 1, 39-48.

臼田滋、遠藤文雄、山端るり子 (1998). 中高年者のバランス能力について. 理学療法学, 24 (学会特別号), 227.

Vellas, J. B., Wayne, J. S, Romero, L. J., Baumgartner, N. R., Garry, J. P. (1997). Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers. Age and aging, 26, 189-193.

Viton, M. J., Timsit, M., Mesure, S., Massion, J., Franceschi, P. J.,

Delarque, A. (2000). Asymmetry of gait initiation in patients with unilateral knee arthritis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81, 194-200.

Von Heideken, P. W., Gustafson, Y., Lundin-Olsson, L. (2009). *Australian Journal of Physiotherapy*, 55, 39-45.

Vouriot, A., Gauchard, C. G., Chanu, N., Benamghar, L., Lepori, L. M., Mur, M. J., Perrin, P. P. (2004). Sensorial organization favouring higher visual contribution is a risk factor of falls in an occupational setting. *Neuroscience Research*, 48, 239-247.

Wade G. M., Lindquist, R., Taylor, R. J., Treat-Jacobson, D. (1995). Optical flow, spatial orientation, and the control of posture in the elderly. *Journal of Gerontology*, 50, 51-58.

Weiner, K. D., Duncan, W. P., Chandler, J., Studenski, A. J. (1992). Functional reach: A marker of physical frailty. *Journal of the American Geriatrics Society*, 40, 203-207.

Weerdesteyn, V., Nienhuis, B., Duysens, J. (2008). Exercise training

can improve spatial characteristics of time-critical obstacle avoidance in elderly people. *Human Movement Science*, 27, 738-748.

Whipple, R., & Wolfson, L. I. (1990). Abnormalities of balance, gait, and sensorimotor function in the elderly population. In P.W. Duncan (Ed), *Balance* (pp.61-68) Alexandria, VA: American Physical Therapy Association.

Whitney, C. J., Lord, R. S., Close, C. J. (2005). Streamlining assessment and intervention in a falls clinic using the Timed Up and Go Test and Physiological Profile Assessments. *Age and Ageing*, 34, 567-571.

Wolf, S. L., Barnhart, H. X., Ellison, G. L., Coogler, C. E., Atlanta FICSIT Group. (1997). The effect of Tai Chi Quan and computerized balance training on postural stability in older subjects. *Physical Therapy*, 77, 371-381.

Wolfson, L., Whipple, R., Derby, A. C., Amerman, P., Murphy, T., Tobin, N. J., Nashner, L. (1992). A dynamic posturography study of

balance in healthy elderly. *Neurology*, 42, 2069-2075.

Wolfson, L., Whipple, R., Derby, C., Judge, J., King, M., Amerman, P.,

Schmidt, J., Smyers, D. (1996). Balance and strength training
in older adults: Intervention gains and Tai Chi maintenance.

Journal of the American Geriatrics Society, 44, 498-506.

Woollacott, M., Inglis, B., Manchester, D. (1988). Response preparation

and posture control. Neuromuscular changes in the older adult.

Annals of the New York Academy of Sciences, 525, 42-53.

Wrisley, M. D., Stephens, J. M., Mosley, Shaun, Wojnowski, A., Duffy,

Jordan, Burkard, R. (2007). Learning effects of repetitive

administrations of the sensory organization test in healthy
young adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*,

88, 1049-1054.

山本敏泰, 浅野裕, 村椿良司, 朴谷修 (1992). 立位外乱時の動的姿勢制御

特性について. *バイオメカニズム*, 11, 261-271.

安村誠司 (1994) 農村部の在宅高齢者における転倒の発生要因. *日本公衆*

衛生雑誌, 41, 528-537.

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 (1991). 地域の在宅高齢者における転倒発生率と転倒状況.

日本公衆衛生雑誌, 38, 735-741.

Xu, D., Hong, Y., Li, J., Chan, K. (2003). Effect of tai chi exercise

on proprioception of ankle and knee joints in old people.

British Journal of Sports Medicine, 38, 50-54.