

原著論文

受付：2011. 9.22

受理：2011.12.22

## 高齢者のバランス支持要素において感覚器が及ぼす影響

林 史 人

森栄病院 リハビリテーション科

浅 井 友 詞

日本福祉大学 健康科学部

森 本 浩 之

水谷病院 リハビリテーション科

丸 山 高 志

山本総合病院 リハビリテーション科

渡 辺 元 夫

アクティブいつき シニア倶楽部

Everett B. Lohman, Eric G. Johnson and Naoko Kashiwa

School of Allied Health Professions, Loma Linda University

## The Postural Control in Different Conditions Among The Healthy Elderly Person

Fumihito Hayashi

Department of physical therapy, Moriei hospital

Yuji Asai

School of Health Science, Nihon Fukushi University

Hiroyuki Morimoto

Department of physical therapy, Mizutani hospital

Takashi Maruyama

Department of physical therapy, Yamamoto general hospital

Motoo Watanabe

Active Ituki senior club

Everett B. Lohman, Eric G. Johnson and Naoko Kashiwa

School of Allied Health Professions, Loma Linda University

**ABSTRACT: PURPOSE:** The purpose of this study was to investigate the postural control on different conditions in health elder. **METHOD:** Twenty-four healthy older adults without history of neurological disease or falls participated in this study. Postural control was measured using the NeuroCom Equi-test<sup>®</sup> to examine the 6 different conditions; (1) eyes open with no movement of the support surface and visual surround, (2) eyes closed with no movement of support surface, (3) eyes open with a sway referenced visual surround and no movement of support surface, (4) eyes open with a sway referenced support surface and no movement of visual surround, (5) eyes closed with a sway referenced support surface, (6) eyes open with both a sway referenced support surface and a sway referenced visual surround. **RESULT:** The healthy elderly showed that postural control was unstable in condition 4 and 5 compared with condition 1 in static visual condition. Moreover, the postural control was unstable in condition 6 compared with condition 1 and 3 in dynamic visual situation. **CONCLUSION:** Vestibular and somatosensory systems were more important than visual system for maintaining the stable posture in healthy elderly.

**Keywords:** static postural control, sensory organization, elderly person, falls, sensory conflict

## 1. はじめに

転倒は、高齢者において多くの問題を抱えており、機能障害や社会的制限を引き起こすと言われている<sup>1,2)</sup>。また、転倒により骨折することも多く、寝たきりの一要因になることも少なくない<sup>3)</sup>。さらに転倒に対する不安や恐怖心そのものが、ADL低下や活動範囲の狭小化を起こす原因ともなる<sup>4)</sup>。本邦においては、転倒が原因で介護が必要になったケースは要介護者全体の約10%に上り<sup>5)</sup>、転倒予防は高齢者のADLを維持していく上で重要な要素であるといえる。

転倒の要因としては身体機能による内的要因と物的環境による外的要因が挙げられ<sup>6)</sup>、これらを総合的に捉えて改善していく必要がある。特に内的要因として高齢者の姿勢制御機構の解明は、転倒予防をしていく上で重要な項目の一つと考えられる。この内的要因は、筋骨格系、神経筋協同収縮系、感覚系、認知系等で構成され、複雑な相互交流が成されている<sup>7)</sup>。そしてこれらの交流がいずれかの系で破綻すると、姿勢制御は困難なものとなる(図1)。また諸家の報告によると、高齢者の姿勢制御において、65歳以降で感覚入力割合が次第に変わり、視覚に依存する割合が増加するという報告<sup>8)</sup>や、加齢に伴い体性感覚へ依存する割合のほうが多くなる<sup>9)</sup>など様々な見解がみられ、一定の知見が得られていない。

そこで本研究では感覚機能に着目し、高齢者の姿勢制御におよぼす影響について検討する。

## 2. 評価

### 2.1 対象

対象は、中枢および末梢神経障害、筋骨格系の疾患等がない独歩可能な健常高齢者24名(平均年齢68.3

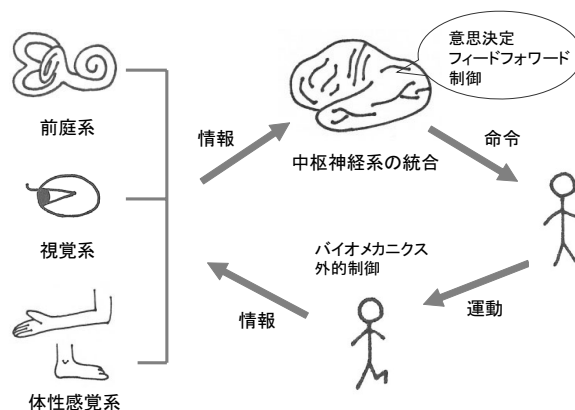


図1 ヒトの姿勢制御

±5.8歳)とした。疾患や病歴の有無は、対象へのアンケートや歩行観察、直立検査などの簡単な平衡検査により判断した。なお、対象は全員同じグランドゴルフサークルに所属しており、週2、3回のサークル活動をしている活発な高齢者であった。

本研究は、日本福祉大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承諾を得た後、対象者に本研究の趣旨を説明し事前に同意を得た上で行った。

### 2.2 方法

評価には、静的立位時に外乱刺激を加え、重心動揺を評価するため Neuro Com International 社製 EquiTest<sup>®</sup> (図2) を使用した。この機器は、床面動揺と壁面動揺をコンピューターで制御し、動的姿勢制御を客観的に評価するためのシステムである。対象は、左右独立したフォースプレート上に裸足で立ち、前方の壁面を注視し外乱刺激に対しバランスを保つ。この EquiTest<sup>®</sup>を用いて、姿勢制御に関わる3つの感覚器



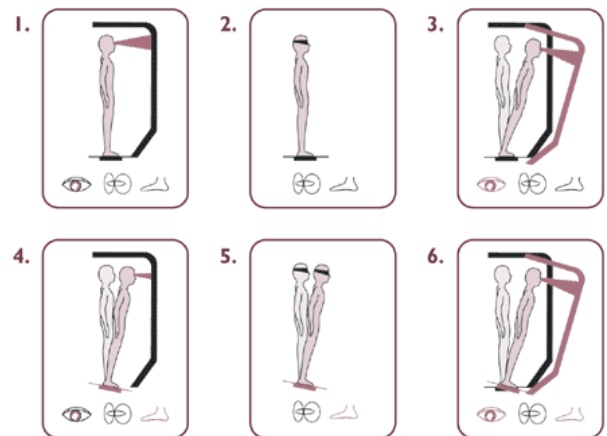
図2 EquiTest® 全景

(視覚, 前庭感覚, 体性感覚) 機能の評価を Sensory Organization Test (以下, SOT) により測定した. SOT では, 支持面や壁面が対象の前後方向の身体動揺に合わせて傾斜することで, 視覚や足関節情報を効果的に調整し, 姿勢制御時の感覚情報を操作することができる<sup>10)</sup>.

検査は6つの条件(以下, C)から構成され, 各条件ともに20秒の立位保持を3回ずつ行い, それらの重心動揺の総軌跡長の平均値を算出し, 各条件間で比較検討した. C1は開眼・支持面固定・壁面固定という条件で, すべての感覚が有効な条件である. C2は閉眼・支持面固定で, 視覚情報のみを遮断する. C3では開眼・支持面固定・身体動揺に追従して壁面が傾斜する. そのため感覚情報の不一致による感覚矛盾が起きる. C4は開眼で, 左右の足の荷重応答に合わせて支持面が前後方向に傾斜する. そのため, 足部からの体性感覚情報が不正確となる. C5はC4の条件を閉眼で行う. C6は開眼・荷重応答の弱い支持面・身体動揺に追従して壁面が傾斜という条件である(図3).

なお, 計測時には対象に対して, ハーネス付きのベストを着用して安全を確保した. その後, 「床や壁面が動くが, 出来る限り足を動かさないようにバランスを取り, 前方の壁を真っ直ぐ見ているように」と指示した.

今回は, 視覚, 体性感覚, 前庭感覚が, 姿勢制御時



条件1 (C1): 開眼・支持面固定・壁面固定

条件2 (C2): 閉眼・支持面固定

条件3 (C3): 開眼・支持面固定・身体動揺と同時に壁面が追従傾斜

条件4 (C4): 開眼・弱い荷重応答・壁面固定

条件5 (C5): 閉眼・弱い荷重応答

条件6 (C6): 開眼・弱い荷重応答・身体動揺と同時に壁面が追従傾斜

図3 Sensory Organization Test

に及ぼす影響についてC1・C2・C4・C5間で比較検討した. さらに感覚情報の矛盾と姿勢制御についてC1・C3・C6間でも検討した.

### 2.3 解析

各条件の重心動揺は総軌跡長に換算して求めた. 統計はSPSSを用い, 各条件をpost-hoc testで比較し, 有意水準を5%とした.

## 3. 結果

### 3.1 各条件における重心動揺の総軌跡長

C1では $9.36 \pm 2.51$ cm, C2では $11.32 \pm 1.67$ cm, C3では $10.55 \pm 2.01$ cm, C4では $24.22 \pm 5.70$ cm, C5では $47.85 \pm 23.15$ cm, C6では $38.93 \pm 12.49$ cmであった.

### 3.2 視覚, 体性感覚, 前庭感覚の影響(図4)

C1とC2間では有意差は認められなかったが, C1とC4間, C1とC5間, C2とC4間, C2とC5間, C4とC5間で有意差が認められた( $P < 0.05$ ).

### 3.3 感覚矛盾の検討(図5)

C1とC3間では有意差は認められなかったが, C1とC6間, C3とC6間で有意差を認めた( $P < 0.05$ ).

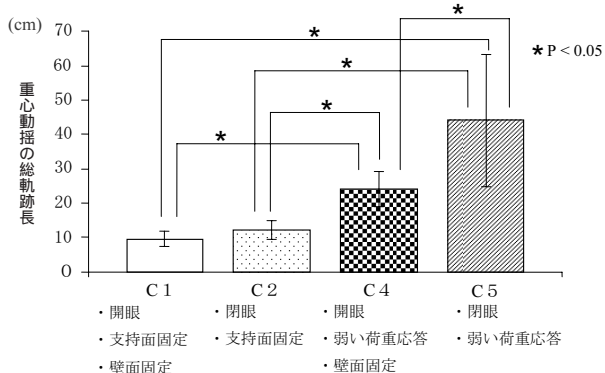


図4 視覚, 体性感覚, 前庭感覚の影響

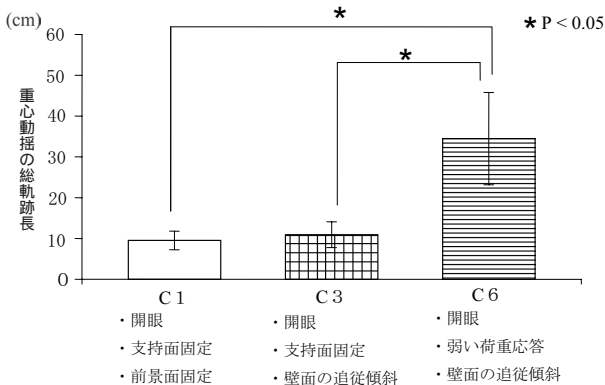


図5 感覚矛盾の検討

## 4. 考察

### 4.1 姿勢制御と各感覚器の関係

今回の結果より, 高齢者の重心動揺が少なかったのは, 支持面からの情報入力 that 正確な条件 (C1, C2, C3) であり, 視覚との関わりを認めなかった. しかし, 支持面の荷重応答が弱くなり, 足圧変化に合わせて左右の床が前後に傾斜する条件 (C4, C5, C6) での重心動揺は大きくなった. つまり, 視覚以上に支持面への依存傾向が顕著であることが示された.

先にも述べたように, 加齢に伴う感覚依存度の変化に関する報告<sup>8,9)</sup>では, 共通した見解が得られていないのが現状である. 今回の対象は, 同じランドゴルフサークルに所属している活動性の高い高齢者であり, 支持面に対する依存傾向が高くなった可能性が推察される. つまり加齢による感覚器の機能低下や依存度の変化は, 必ずしも一様な過程をたどるわけではないといえる. そのため今後, 視力や活動量などの因子との関係も含め, さらに対象者数を増やし検討していく必

要がある.

一方, 最も重心動揺が大きくなった条件は C5, C6 であり, 前庭入力 that 優位となる条件であった. このことより今回対象とした高齢者では, 支持面への依存に加え, 視覚と体性感覚情報が同時に低下する状態では, 前庭感覚による代償が困難であることがわかった. これは Teasdale らも同様に述べており, 高齢者と若年者に対して, 前庭感覚入力 that しかない条件では, 若年者に比べ高齢者で有意に動揺が増加したと報告している<sup>11)</sup>.

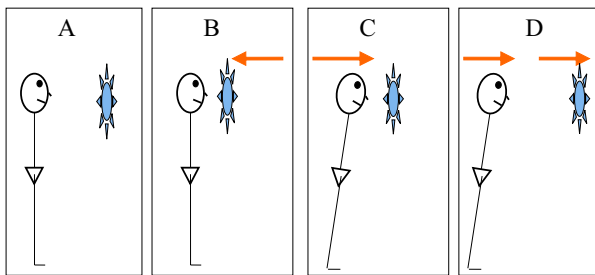
一般に成人の姿勢制御機構の場合では, 全体の 65% は前庭により支配され, 残りの 35% が視覚, 体性感覚支配であり<sup>12)</sup>, 前庭感覚の占める割合は大きいといえる. しかし, 前庭系は 70 歳までにその神経細胞の 40% が減少するといわれ<sup>13)</sup>, 加齢により機能低下をきたすことは明らかである. したがって前庭に対する評価やトレーニングは姿勢制御において重要な要素である.

今回の結果から, 活動性の高い高齢者であっても, 前庭機能が低下していることが示唆され, 理学療法において姿勢制御を考える上で感覚器の評価, 特に前庭評価が重要であるといえる.

### 4.2 視覚的外乱刺激の影響

前庭系は視覚・体性感覚系からの情報を統合し, 姿勢制御に関与する. そのため, 前庭系の機能低下は, 感覚矛盾に対する処理を難解にすると想定される. この感覚矛盾とは, 視覚, 体性感覚, 前庭感覚情報が不一致を起こし, 混乱した状態で生じるもので, 動揺病 (motion sickness), いわゆる乗り物酔いの誘因とされる感覚矛盾説 (sensory conflict theory)<sup>14)</sup>と同様の起序で説明できる. 例えば図6の A~C のような条件では, 荷重・空間・身体動揺を認知して姿勢制御を行う. しかし D のようにヒトの動きに合わせて自己を取り巻く環境が動くような場合には, 視覚情報と重力, 身体保持面情報が不一致となり感覚矛盾を起こす. 我々はこれを視覚的外乱刺激と呼び, 姿勢制御に対する外乱因子の一つと考えている. そこで本研究では C3, C6 のように不正確な視覚情報を加えることで, 感覚矛盾が姿勢制御に及ぼす影響について検討した. これらの条件では, 対象者の前後傾斜動揺角に合わせて, 壁面が自動的に追従傾斜し, 視覚情報を混乱させるこ





A : 静止立位  
 B : 視覚情報の移動  
 C : ヒトの移動  
 D : ヒトと視覚情報が同方向に移動

図6 条件の違いによる感覚矛盾

とが可能である。その結果、C3の場合は重心動揺に有意差は認められず、体性感覚と前庭感覚で代償が可能であった。しかし、C6のように足部からの体性感覚情報が不正確な状態では、C5と同じく大きな動揺を示した。つまり視覚情報が混乱した状態であっても、支持面が固く平坦であれば、安定した立位保持が可能である。しかし、支持面からの定位情報が不正確な状態で視覚情報が混乱すると、姿勢制御に大きく影響を及ぼす。このことから、高齢者は感覚矛盾に対し、前庭系の代償が不十分であることが示唆された。そのため、視覚情報が混乱するような環境では、十分な注意と危険性の認識が必要であると思われる。例えばデパートの人混みの中や、バスが進行方向に移動する場合などで感覚矛盾刺激が起こりうる<sup>10)</sup>。この外乱刺激による混乱は、記憶された感覚の組み合わせと不一致を起こすことで発生すると考えられ<sup>15)</sup>、ヒトは予想外の情報により頭部と視覚の位置情報がずれると、動揺病と同じような症状を起こす可能性がある。

以上のように高齢者の姿勢制御には、運動機能面と共に感覚器の評価も重要であり、より幅広い視点から評価を考えていく必要がある。従来から行われている明るい環境の中や、固く平坦な床上でのバランステストではADLに即した評価とは言い難い。そのため筋力や柔軟性以外に感覚器も含めた総合的な評価を行い、低下した能力の回復や偏った機能を補正できるような理学療法的アプローチを考えていく必要がある。

## 5. 結 語

今回は、運動習慣のある健常高齢者の静的姿勢制御における感覚機能を検討した。その結果、視覚よりも足部

からの正確な位置情報が、バランス支持要素に深く関与していることがわかった。さらに、視覚と体性感覚情報が共に不正確、または混乱するような条件では、活動性の高い高齢者であっても、前庭感覚による代償は困難であった。そのため、高齢者のバランス機能を評価する上では、生活環境を踏まえ、筋力や柔軟性などの運動機能面だけにとらわれず、感覚器にも着目し、特に前庭機能に対する評価やアプローチを加える必要がある。

## 参考文献

- 1) P. Kannus: Non-pharmacological means to prevent fractures among older adults. *Ann Med* 37: 303-310. 2005
- 2) M. M. Madurreria: Balance training program is highly effective in improving functional status and reducing the risk of falls in elderly women with osteoporosis: a randomized controlled trial. *Osteoporos Int* 18: 419-425. 2007
- 3) O. Johnell: An estimate of the worldwide prevalence, mortality and disability associated with hip fracture. *Osteoporos Int* 15: 789-902. 2004
- 4) C. L. Arfken: The prevalence and correlates of fear of falling in elderly persons living in the community. *Am J Public Health* 84: 565-570. 1994
- 5) 厚生労働省 平成22年度国民生活基礎調査の概況
- 6) M. E. Tinetti: Fall risk index for elderly patients based on numbers of chronic disabilities. *Am J Med* 80: 429-434. 1986
- 7) Anne Shumway-Cook, Marjorie H. Woollacott. 田中繁, 高橋明 監訳: *Motor control translating research into clinical practice* Third edition. 医歯薬出版株式会社 pp. 152-182 (2009)
- 8) I. Pyykko, P. Jantti, Aalto, H. Aalto: Postural control in elderly subjects. *Age and Ageing*, 19, pp. 215-221 (1990)
- 9) M. H. Woollacott, A. Shumway-Cook, L. M. Nashner: Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *The international journal of aging and human development*, Vol. 23, no. 2, pp. 97-114 (1986)
- 10) Neuro Com Systems Products: <http://resource.sonbalance.com/neurocom/products/EquiTest>.

aspx (2011年11月28日参照)

- 11) N. Teasdale, G. E. Stelmach, A. Breuning: Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *Journal of gerontology: Biological sciences*, Vol. 46, No6, pp. 238-244 (1991)
- 12) J. H. J Allum, C. R. Pfaltz: Visual and vestibular contributions to pitch sway stabilization in the ankle muscles of normals and patients with bilateral vestibular deficits. *Experimental brain research*, 58, pp. 82-94 (1985)
- 13) U Rosenhall, W Rubin. Degenerative changes in the human vestibular sensory epithelia. *Acta Oto-laryngologica*, 79, pp. 67-80 (1975)
- 14) J. T. Reason: Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the royal society of medicine*. Vol. 71. pp. 819-829 (1978)
- 15) 内野善生他：めまいと平衡障害. 金原出版. pp. 162-175 (2009)