高齢者の姿勢制御機構 —転倒と視覚の関係について—

石崎 久義¹⁾・Ilmari Pyykkö²⁾

Postural Control in Elderly Persons —Effect of Vision on Accidental Falls—

Hisayoshi Ishizaki¹⁾, Ilmari Pyykkö²⁾

¹⁾*Department of Otolaryngology, Hamamatsu University School of Medicine*

²⁾*Department of Otolaryngology, University Hospital of Helsinki*

Postural control mechanism and risk factors for accidental falls were studied in elderly persons. Posturography measurement was performed with vibration to stimulate calf muscles at different frequencies from 20, 40, 60, 80, to 100 Hz arranged in a pseudo-random fashions.

Sway velocity was measured to reflect postural control under visual and non-visual conditions with and without vibration. Under non-visual conditions, sway velocity was increased in elderly persons. In elderly persons, postural stability was controlled much more by visual input than by referents due to deterioration of vestibular and proprioceptive control of posture. Romberg's quotient in elderly who fell frequently (fallers) differed significantly from that of those who did not fall frequently (non-fallers) ($P < 0.01$).

Fallers did not use visual input to control their posture. Proprioception from calf muscles was poorer in fallers than in the non-fallers.

In risk factor analysis, lateral body sway, Romberg's quotient, poor vision, support, motility, parkinsonism and muscle hypotony were predictive for accidental falls. To prevent falls, rehabilitation programs should be attempted to enhance proprioceptor or pressoreceptor cues. Visual input should be promoted by sufficient visual illumination and contrasting visual surroundings.

Key words: Postural control, Elderly persons, Visual input Accidental falls, Risk factors

はじめに

我々の住む社会は次第に高齢化社会に移行しており、21世紀初めには65才以上の老人は全人口の

20%以上になろうとしている。老人福祉と再雇用の問題など様々な局面から老人の健康状態・感覚機能の評価が必要になってくる。

このことは北欧諸国でも例外でなく、特に社会福祉の発達した平均寿命の高いスカンジナビア諸国では冬季路面の凍結により老人の転倒事故が頻回に起こり、骨折から長期入院を余儀なくされ、

¹⁾ 浜松医科大学耳鼻咽喉科学教室

²⁾ ヘルシンキ大学耳鼻咽喉科
新専門会員

余病を併発して死に至るケースが多く報告¹⁾されている。そこで転倒の原因として高齢者の姿勢制御機構の解明が必要になってくる。

ヒトの姿勢制御機構は主に前庭・視覚・深部知覚からの入力によりコントロールされている²⁾。年齢によりその各入力の依存度は変化するものといわれている³⁾。特に高齢者の姿勢制御は視覚に依存する率が健康成人に比べて高いと報告されている⁴⁾。習慣性転倒高齢者についての姿勢制御に関する報告および転倒に関する危険因子解析における報告はあまり見られない。今回対象者はフィンランド人であるが、今後我が国でも近い将来必須の問題となろうゆえ、高齢者の姿勢制御機構を健康成人のそれと比較検討した上で、習慣性転倒高齢者の姿勢制御について、特に視覚との関連を中心に姿勢制御機構の特徴について述べ、転倒に関連した危険因子の分析を行ったので報告する。

対象および方法

対象はフィンランド国内の老人ホームに暮らしている高齢者であり、健康成人はヘルシンキを中心に官公庁で働いている労働者である。無作為に抽出した上で、被験者として協力してもらった。

健康高齢者は内科的疾患など精査し、音叉を用いた振動覚テスト・伸張反射テスト・視力・聴力検査・仰臥位や立位での血圧変動試験・関節の可動性・記憶力や失見当識など大脳機能についての検査⁵⁾⁶⁾を施行した上で、重心動揺検査に支障をきたすことのなかった32例である。

健康成人100例は安定した姿勢維持ができ得る50才から60才の中年男性54例と女性46例より構成された。

フィンランド国内にある老人ホームで2カ月の間に起こった転倒事故を調査した結果、398件の転倒事故が報告された。そのうちの2度以上にわたって転倒事故を起こした習慣性転倒高齢者69例のうち、前述と同じような方法で諸疾患の有無等を精査した結果、重心動揺検査に支障をきたすことがないと認めた患者41例が対象となった。転倒高齢者群の平均年齢は84.3才(61才—95才)で高齢者群の平均年齢は85.1才(72才—97才)であった。統計学的にも影響を与えることのないように男女性別についてもほぼ同じような分布になるように配慮した。

健康成人・高齢者群に対する重心動揺検査は先

に石崎ら⁷⁾、Pyykköら⁸⁾、Aaltoら⁹⁾により報告されている方法にて行われた。

180秒間の検査時間で腓腹筋筋腹中央に置かれたシリンダータイプの刺激発生装置からの振動刺激は筋紡錘・腱紡錘に働きかけ深部知覚に影響を与えるものであり、10秒から15秒の様に0.4 mm 振幅の刺激で、20 Hz、40 Hz、60 Hz、80 Hz、100 Hzの5種類の振動刺激を最初30秒間の無刺激期後ランダムに与えた⁸⁾。

データは33.3 Hzにてサンプリングが行われた。ノイズやアーチファクトはフィルターにより処理され6.3 Hz以上の周波数をカットした⁹⁾。

無刺激状態での開眼・閉眼時の重心動揺速度と最も反応が得られやすい80 Hz振動刺激時における開眼・閉眼時の重心動揺速度についての計測を行った。

69例の転倒高齢者群については2回以上の転倒経験があり、そのうちの9例は入院中であり、17例は検査時指示されたような立位姿勢をとることが出来ず、2例については検査を拒否したため計41例について重心動揺検査を施行した。検査は転倒する危険性を考慮に入れて60秒間無刺激状態で、開眼・閉眼時の重心動揺速度による計測のみを行った。

転倒に関する危険因子については前後・左右動揺、ロンベルグ率、視力、歩行時における補助具・付き添いの有無、即ち介助について、関節の可動性について、記憶力・失見当識など大脳機能・運動機能を評価するパーキンソン病の程度について、下肢の筋緊張低下、聴力、血圧などについて評価を行った。

前記項目のうち数値化できず客観的評価しにくいものについてはスコア化(正常=1, やや不良=2, 不良=3, 不能=4)して評価した。

健康成人・高齢者群、高齢者・転倒高齢者群での比較はMann-Whitney U testにより、異なった条件下での比較はWilcoxon signed rank testにより検定を行った。危険因子の解析については、左右動揺、ロンベルグ率、視力などの各危険因子を説明因子とし、高齢者の転倒回数を従属変数とする重回帰分析を行い、 $P<0.05$ にて有意差の判定を行った。

結 果

図1の健康成人と高齢者の開眼時・閉眼時から

の重心動揺速度の比較では、高齢者の場合開眼時には 23 mm/s と健康成人 (9 mm/s) に比べて 2 倍以上の動揺が認められた。閉眼時には高齢者は 38 mm/s とさらに動揺が著明になるが、健康成人では 11 mm/s とそれほど増加しておらず視覚の影響が少ないものと考えられた。

図 2 の開眼時・閉眼時に健康成人と高齢者に 80 Hz の振動刺激を加えた状態では、両群ともに閉眼時において著明に動揺速度の増大が認められた ($P < 0.001$)。開眼時と閉眼時各々の条件下で両群を比較した場合、高齢者の動揺速度がいずれの条件下でも著明であり有意差が認められた ($P <$

0.001)。次に図 3 は高齢者・転倒高齢者群の比較についてロンベルグ率 (閉眼時の重心動揺速度 / 開眼時の重心動揺速度) とを比較したものである。これによると両群間には有意差 ($P < 0.01$) が認められるが、転倒高齢者のほうがロンベルグ率が低く視覚からの入力割合が少ないことを示すものであった。

図 4 は高齢者・転倒高齢者の開眼・閉眼時の重心動揺速度を比較したものである。

高齢者の動揺速度は開眼時に比べて閉眼時には有意 ($P < 0.01$) に増大が認められた。開眼時には両群の有意差は認められなかった。危険因子の

図 1 健康成人と高齢者の開眼時と閉眼時の重心動揺速度の比較

図 2 振動刺激 80 Hz における健康成人と高齢者の開眼時と閉眼時の重心動揺速度の比較

図 3 高齢者と転倒高齢者のロンベルグ率の比較

図 4 高齢者と転倒高齢者の開眼時と閉眼時の重心動揺速度の比較

表 1 転倒に関連した危険因子を説明因子とし、高齢者の転倒回数を従属変数とした重回帰分析の結果

説明因子	回帰係数	P値
左右動揺	0.24	$P<0.01$
ロンベルグ率	0.23	$P<0.01$
視力	0.20	$P<0.05$
介助	0.29	$P<0.01$
関節可動性	0.36	$P<0.001$
パーキンソン病	0.27	$P<0.01$
筋力低下	0.27	$P<0.01$

重相関係数 $R=0.78$

解析の結果、前後動揺、聴力、血圧では有意差は認められなかったが、表 1 に示すように左右動揺、ロンベルグ率、視力、介助、関節可動性、パーキンソン病、筋力低下で転倒高齢者と高齢者の両群の間で有意差が認められ、重相関係数 ($R=0.78$) より、これらの危険因子で約 61% ($100 \times R^2$) に転倒を予測できることが示された。

考 察

ヒトの姿勢制御は 20 才代から 50 才代が非常に安定しており 65 才より次第に不安定になると報告されている¹⁰⁾。健康成人では半数以上は前庭からの入力により姿勢が維持されていると言われ¹¹⁾、

また、健康成人では閉眼時には動揺の増加は軽微なものであるが、65才を過ぎると次第に入力割合に変化が起これ視覚からの入力が増加すると報告¹⁰⁾されている。同じように我々の結果からも閉眼時には高齢者は非常に動揺が増加する事が認められた(図1)。高齢者の閉眼時の不安定な動揺は、視覚からの入力の依存度が高いことを示すものであり、さらに開眼時における不安定な動揺はEra¹²⁾が報告しているように前庭の機能低下に基づくものと考えられた。

また深部知覚からの入力依存度を確かめるために80 Hzの振動刺激を腓腹筋に加え、筋紡錘・ゴルジ腱に単シナプス性の伸張反射・多シナプス性の中樞を介する伸張反射により姿勢制御に外乱を起こす¹³⁾。

図2から健康成人では開眼時の姿勢制御にはあまり影響を与えないが閉眼の状態では有意に動揺が増加している。健康成人の場合前庭からの入力が約65%を占めており、残りの35%を視覚と深部知覚から受けている¹¹⁾¹⁴⁾。しかし状況により姿勢を安定させるための入力依存度に変化が起これ、健康成人でもこのように振動刺激を加えた状態では視覚からの影響が多分にあるものといえる¹⁵⁾¹⁶⁾。

高齢者は閉眼時では最も動揺が著明に認められ、視覚からの入力が無くなったことや振動刺激が深部知覚にもかなり影響を与えているものといえる。高齢者の姿勢制御は視覚からの入力が大部分を示すものであり、無刺激・振動刺激の状態でも開眼時に高齢者は動揺が健康成人に比べて有意に増加しているのは前庭の機能低下にも結びついているものと考えられEra¹⁷⁾と意見の一致を得た。振動刺激はどの程度が最も有効な刺激かについては議論の余地のあるところであるがEklund¹³⁾の報告では約65 Hz以上の振動刺激についての反応は、ほぼ一様といわれており、Pyykköら¹⁰⁾の報告にあるように80 Hzにおける振動刺激が反応を捉えるに最も適していると思われた。

転倒事故は生命予後に関して非常に重要な因子を含んでいる。

フィンランドでは65才以上の老人は22万人に及んでいる。35%の老人がめまいふらつき歩行障害を訴えており、転倒事故につながるものである¹⁸⁾。大腿骨頭頸部骨折などで長期の入院生活

を強いられている¹⁹⁾。アメリカでは転倒事故が交通事故以上に老人の死亡事故につながっている²⁰⁾。このような事態から転倒事故の原因究明が姿勢制御の面からなされるべきである。

高齢者の不安定な姿勢に基づく転倒事故には身体の不自由さ・筋力の緊張低下・視力・神経系全般の退行変性・内服薬による筋緊張低下や催眠などの副作用による様々な因子²¹⁾²²⁾が含まれており一概に視覚・前庭・深部知覚による入力のみの問題のみで解決することは難しい。転倒に関与している危険因子の解析から表1のような結果になったが、足底位置など立位条件にもよるが左右動揺が強いほど転倒事故に繋がる事が示され興味ある結果が得られた。

ロンベルグ率との関連性については図3からもロンベルグ率が有意($P < 0.01$)に転倒高齢者では低く視覚の入力が少ないことを示すものである。視覚が使われていないため転倒が起これやすい事、乏しい視力は姿勢の動揺の増大を招くとPaulusら²³⁾が報告しているように、乏しい視力も十分転倒に関与していると考えられた。その改善を目的として視覚の感受性を高めるような工夫をすべきであり、視覚に訴えるような環境設定をすべきである。視覚の入力を高めるための方法としてJänttiら²⁴⁾の報告にもあるように老人ホーム内の部屋の配色をよりわかりやすくし、コントラストをつけること、照明による採光を考慮し、暗い部分を減らすように工夫する事などが必要と思われた。視力が乏しいためあまり周囲のものに注意を払わない結果、視覚からの入力が乏しくなる結果にも繋がると推察された。

介助は明らかに転倒と関連があるようで看護婦の手薄な時間帯に起これやすいようである。介助は関節の可動性と密接な関連があり患者の歩行障害の程度を反映するものである。パーキンソン病の病気の進行状態により痴呆、記憶障害、失見当識も進み、また抗パーキンソン薬・抗精神薬による催眠・全身倦怠感・筋緊張低下などの副作用と結びつき歩行障害を招き転倒に繋がると考えられた。

開眼時の重心動揺速度の増大は、前庭機能低下からも十分説明できるが、図2から高齢者の場合、振動刺激が加えられたことにより著明な動揺が認められたことから視覚による入力があっても

著明な動揺が認められるのは、深部知覚からの入力も十分姿勢制御に関与しているものと推察された。

視覚との関連から転倒を説明するにあたり、視覚を入力とする姿勢反射では 120 ms かかるといわれている¹⁰⁾。姿勢を立て直すのに時間がかかりすぎるため、そのため姿勢を維持できずに転倒に及ぶと推察された。

転倒者の場合、視覚からの入力が少ないために前庭・深部知覚からの入力に依存するようになる。そのため深部知覚をより鋭敏にするためのトレーニング・リハビリテーションが必要とされる。

そのため足底にある圧受容器の働きをより活発にするための工夫をこらした足底にイボイボのある靴とか、足底部の扁平な靴が推奨される²⁵⁾。関節の硬化を防止するために柔軟体操を含めたリハビリテーション²⁶⁾²⁷⁾を行うことが転倒事故を未然に防ぐ鍵につながると思われた。

転倒に纏わる因子は非常に多く、それぞれの解析には難しいものがあると思われるが、転倒事故による死亡をいかに少なくするかは高齢化社会を迎える我々にとって決して無関心で過ごすことのできない問題である。

危険因子へのリハビリを含めた積極的な対応が高齢者の転倒事故を少なくし、未然に防ぐ鍵となると考えられた。

まとめ

1. 高齢者の姿勢制御は視覚に依存する率が健康成人に比べて非常に高かった。

2. 高齢者の転倒事故につながる姿勢制御機構は視力が乏しい上に、視覚からの情報が少ない事が原因と思われた。

3. 高齢者は前庭・深部知覚など全体的な機能低下があるが、特に深部知覚を鍛えるリハビリや照明・配色を考慮し環境改善を行えば転倒事故を未然に防ぐことが出来るものと思われた。

4. 高齢者の転倒事故は、多くの危険因子が関与しており統計解析の結果、左右動揺・ロンベルグ率・視力・介助・関節可動性・パーキンソン病・筋緊張低下などに転倒との関連性が認められた。

本論文の要旨は第2回耳鼻咽喉科と老化の研究

会（東京）、第22回 SENT 会（静岡）にて発表した。

文 献

- 1) Wild D, Nayak USL, Isaacs B: Prognosis of falls in old people at home. *J Epidemiol Community Health* 35: 200-204, 1981
- 2) Diener HC, Dichgans J: On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. In ed Pompeiano O, Allum JHJ, *Prog Brain Res* 76: 253-262 Elsevier, Amsterdam, 1988
- 3) Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner LM: Ageing and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Ageing Hum Dev* 23: 97-114, 1986
- 4) Sheldon JH: The effect of age on the control of sway. *Gerontol Clin* 5: 129-138, 1963
- 5) Robinson BJ, Stowell LI, Johnson RH, et al: Is orthostatic hypotension in the elderly due to autonomic failure? *Age Ageing* 19: 288-296, 1990
- 6) Kahn RL, Goldfarb AI, Pollack M, et al: Brief objective measures for the determination of mental status in the aged. *Am J Psychiatry* 117: 326-329, 1960
- 7) 石崎久義, 野末道彦, Ilmari Pyykkö: 高齢者の姿勢制御機構について一重心動揺での位置・速度・加速度解析における健康成人との比較から. *Equilibrium Res* 50: 255-262, 1991
- 8) Pyykkö I, Jäntti P, Aalto H: Postural control in the oldest olds. *Adv Otorhinolaryngol* 41: 146-151, 1988
- 9) Aalto H, Pyykkö I, Starck J: Computerized posturography, a development of the measuring system. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 449: 71-75, 1988
- 10) Pyykkö I, Jäntti P, Aalto H: Postural control in elderly subjects. *Age Ageing* 19: 215-221, 1990
- 11) Pyykkö I, Aalto H, Jäntti P, et al: Effect of age on postural control. In ed Amblard B, Berthoz A, Clarac F. *Posture and gait:*

- Development, adaptation and modulation: pp 95-104, Elsevier, Amsterdam, 1988
- 12) Era P: Posture and control in elderly. *Int J Technol Ageing* 1: 679-694, 1988
 - 13) Eklund G: General features of vibration-induced effects on balance. *Ups J Med Sci* 77: 112-124, 1972
 - 14) Allum JHJ, Keshner EA: Vestibular and proprioceptive control of sway stabilization. In ed Bless W, Brandt T, Disorders of posture and gait. pp 19-40, Elsevier Science Publishers B V, Amsterdam, 1986
 - 15) Lee DN, Lishman JR: Visual proprioceptive control of stance. *J Human Movement studies* 1: 87-95, 1975
 - 16) Dorman J, Fernie GR, Holliday PJ: Visual input: its importance in the control of postural sway. *Arch Phys Med Rehabil* 59: 586-591, 1978
 - 17) Era P: Sensory, psychomotor and motor functions in men of different ages. *Scand J Soc Med Suppl* 39, 1987
 - 18) Evans JG, Prudham D, Wandless I: A prospective study of fractured proximal femur: factors predisposing to survival. *Age Ageing* 8: 246-250, 1979
 - 19) Rubinstein LZ: Falls in the elderly: a clinical approach. *West J Med* 136: 273-275, 1983
 - 20) Tinetti ME, Williams TF, Mayewski R: Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities. *Am J Med* 80: 429-434, 1986
 - 21) Robbins AS, Rubenstein LZ, Josephson KR, et al: Predictors of falls among elderly people. *Arch of Inter Med* 149: 1628-1633, 1989
 - 22) Klawans HL, Topel JL: Parkinsonism as a falling sickness. *J Am Med Wom Assoc* 230: 1555-1557, 1974
 - 23) Paulus WM, Straube A, Brandt Th: Visual stabilization of posture. *Brain* 107: 1143-1163, 1984
 - 24) Jäntti P, Pyykkö I, Hervonen ALJ: Falls among elderly nursing home residents. *Public Health* 107: 89-96, 1993
 - 25) Watanabe I, Okubo J: The role of the planter mechanoreceptor in equilibrium control. *Ann NY Acad Sci* 374: 855-864, 1981
 - 26) Morris EV, Isaacs B: The prevention of falls in a geriatric hospital. *Age Ageing* 9: 181-185, 1980
 - 27) Rodstein M: Accidents among the aged: Incidence, causes, and prevention. *J Chron Dis* 17: 515-526, 1964

(原稿到着：平成7年3月3日)
 (別刷請求先：石崎久義)
 〒431-31 浜松市半田町3600
 浜松医科大学耳鼻咽喉科学教室)