

老人の平衡機能の適応能の評価

金沢大学	藤原勝夫
(共同研究者) 同	外山 寛
同	浅井 仁
金沢経済大学	宮口明義
金沢医科大学	山科忠彦
金沢大学	出村慎一

Evaluation of Adaptability of Equilibrium Function in the Old

by

Katsuo Fujiwara, Hiroshi Toyama,

Hitoshi Asai

Kanazawa University

Akiyoshi Miyaguchi

Kanazawa Economic College

Tadahiko Yamashina

Kanazawa Medical University

Shinichi Demura

Kanazawa University

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the adaptability of equilibrium function in the old. The subjects were 39 university students (young group) from 18 to 21 years old and 48 old age persons (old group) from 62 to 78 years old. A vibration table with a force plate on which the subjects maintained the standing posture with eyes closed, was vibrated sinusoidally in anteroposterior direction under the condition of 2.5 cm amplitude and 0.5 Hz frequency.

The trial time on the vibration table was one minute. This trial was repeated 5 times with inserting a rest sitting on a chair for one minute. The equilibrium function of standing posture was evaluated by the mean speed of the fluctuation foot pressure center.

The mean speed was corrected by the height. The results were follows :

1) The equilibrium of the old group was significantly inferior to that of the young group in all trials.

2) In all subjects of the young group, the equilibrium function improved with repeating the trial. In the old group, the subjects of about 15% didn't show the improvement of equilibrium function with repeating the trial, on the other hand, a few subject showed the improvement similar to the young group. Conceivably, the adaptability of the old group was inferior to that of the young group.

3) In the young group, the sexual difference of equilibrium function wasn't recongnized in all trials. In the old group, the equilibrium function of male was superior to that of female untill the third trial, and after that trial a significant sexual difference wasn't shown. It was conceivable that no sexual difference of the adaptability of equilibrium function exist.

要 旨

本研究の目的は、老人の平衡機能の適応能について検討することにある。被験者は、18～21歳の大学生39名と62～78歳の老人48名からなる。振動台に固定した床反力計上で閉眼にて立位姿勢を保持し、振動台を振幅2.5cm、周波数0.5Hzで正弦波状に振動した。1回の試行時間を1分間とし、座位による1分間の休憩を挟んで5試行を課した。平衡機能は、足圧中心動揺の平均速度によって評価した。その値は身長補正を施した。そして、次のような知見を得た。

1) 老人の平衡機能は、いずれの試行回においても、若年者よりも有意に劣っていた。

2) 試行を繰り返すことによって、若年者はい

ずれも平衡機能が向上したのに対して、老人においては平衡機能の向上が認められない者が約15%おり、老人の平衡機能の適応能は若年者よりも劣っていた。ただし、老人の中には若年者と同様に向上する者も若干認められた。

3) 若年者においては、いずれの試行回でも有意な平衡機能の性差が認められなかった。老人においては、第3試行までは女子よりも男子の平衡機能の方が有意に優れているが、その後の試行回では有意な性差は認められなかった。このことなどから、平衡機能の適応性については、有意な性差はないものと考えられた。

1. 目 的

今後急速に進む高齢化社会において、老人がい

かに健康で安全に生活するかということは重要である。その場合、老人に転倒が多く、大きなケガになることがしばしばあり、若年者と異なり長期に渡る介護が必要となるなど、二次的にも多くの問題を引き起こしているのが実情である。一方、若年労働人口の減少という面から、高年齢者の雇用が重視されている。しかし、高年齢労働者に転倒、転落、動態物との接触などによる重大災害が多く、その防止策と安全向上策を検討することが強く望まれている。転倒問題に関しては、平衡機能の低下の観点より分析が進められている。

安静立位姿勢の平衡機能の老化に関する研究は、Hellebrandt ら¹⁰⁾をはじめとして、著者ら⁴⁾を含め実に多くなされてきた^{11, 15, 18, 21, 24)}。また、その平衡機能の低下に、関与する生理学的な研究も、近年多数報告されている。例えば、前庭機能^{17, 31)}、視運動眼振^{27, 32)}、起立性低血圧^{12, 16)}などに関するものである。体力要因に関しては下肢筋力などがあげられている^{4, 20)}。

老人の転倒などによる労働災害については、静的な状態での平衡機能の分析を敵ら²⁸⁾が行っているが、事故経験との間に明確な関係は認められていない。Ferne³⁾によって、転倒経験者の平衡機能が劣るという結果が報告されているが、その差はわずかであるという。このような結果は、取り上げた平衡機能が転倒に直接結びつくような動的なものではないことによることも十分考えられ

る。

したがって、転倒の原因のひとつと考えられる外乱刺激に対する、平衡機能の適応性という面からの検討を、十分進める必要があると考える。私どもはこれまでに、外乱刺激として床を水平に振動する方法を用い、姿勢調節の応答特性や適応能の研究を行ってきた。それによって、振幅 2.5 cm、振動周波数 0.5 Hz において、平衡機能の差をよく検出できること⁹⁾、この調節には予測的制御過程が強く関与していること⁹⁾、および大学生では比較的少ない（1 分間×3 回）試行で十分適応するが⁷⁾、幼児ではその試行ではほとんど適応しないこと⁸⁾などの知見を得てきた。

本研究では、老人を対象にして、上述した条件の水平床振動を繰り返し負荷し、平衡機能の適応能について検討することとする。これによって、老人の平衡機能の訓練効果の様相について知り、訓練の方向性を得ようとするものである。

2. 方 法

被験者は 62 歳から 78 歳の男女各 24 名からなる。また、比較対象の若年者として金沢大学の 18～21 歳の男子学生 18 名と女子学生 21 名を被験者とした。被験者の年齢、身長、体重を表 1 に示した。老人の年齢は、女子の方が若干低かった。身長と体重は、いずれの年齢群も日本人の標準値¹⁹⁾に近かった。

表 1 Number of the subjects in young and old age groups and their physical characteristics

Group	Number	Age (years)		Height (cm)		Weight (kg)	
		Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Young							
male	18	19.8	0.73	172.2	5.36	67.0	7.21
female	21	19.5	0.59	158.0	5.96	54.1	7.40
Old							
male	24	70.7	4.38	158.3	4.81	56.3	7.97
female	24	67.3	1.99	147.8	4.30	49.0	8.22

被験者には、振動台（電子制御グループ、PW 0198）に固定されている床反力計（パテラ、S 110）上で、閉眼・閉足位にて立位姿勢を保持させ、水平床振動を負荷した。振動台の特性は、別報⁹⁾のとおりである。振動は正弦波状とし、振幅 2.5 cm、周波数 0.5 Hz とした。1 回の試行時間を 1 分間とし、椅座位による 1 分間の休憩を挟んで 5 回反復した。被験者の安全を考慮して、被験者の横に補助者をつけた。補助者は、被験者が転倒しそうになった場合にのみ支えた。被験者には、手を体側に軽く着けさせ、意図的な膝や腰の屈曲を避けさせ、リラックスした立位姿勢を保つように指示した。振動台の概略と実験の様子は、図 1 に示した。

これらの試行中に、直線型ポテンショメータ（緑測器、LP 10）によって床振動の変位を、床反力計によって前後方向の足圧中心動揺を検出し、データレコーダ（共和電業、RTP-501 AL）に収録した。その他に、補助者が被験者を支えた時間

帯を、音声でデータレコーダに収録した。後刻、足圧中心動揺のデータを再生し、A/D 変換の後、振動開始 10 秒目から 50 秒間のデータを用いて、足圧中心動揺の平均速度（MS-CFP）を、マイクロコンピュータ（NEC、PC 9801 VX）で数値計算した。老人では、たびたび補助を必要としたが、その時間帯のデータは削除して計算した。得られた値は、次式によって身長補正を施した。この値によって、平衡機能を評価した。

$$\text{補正值} = \text{実測値} \times 160 / \text{身長}$$

なお、統計上の有意水準は、5% として検定した。

3. 結 果

老人の床振動の変位および足圧中心動揺の第 1 試行と第 5 回試行の代表的記録例を、図 2 と図 3 に示した。図 2 は 5 回の試行で MS-CFP が変化しなかった例であり、図 3 は試行を重ねることによって、MS-CFP が有意に減少し、平衡機能が向

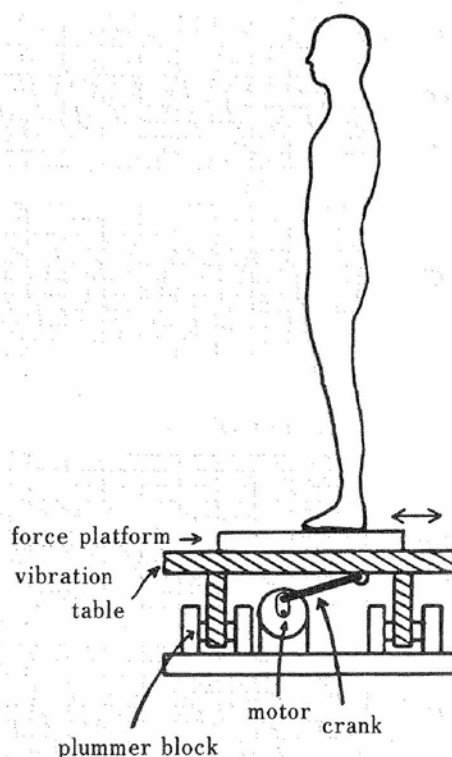


図 1 Measurement method for equilibrium function (left figure) and schematic drawing of a floor vibration table with a force plate (right figure)

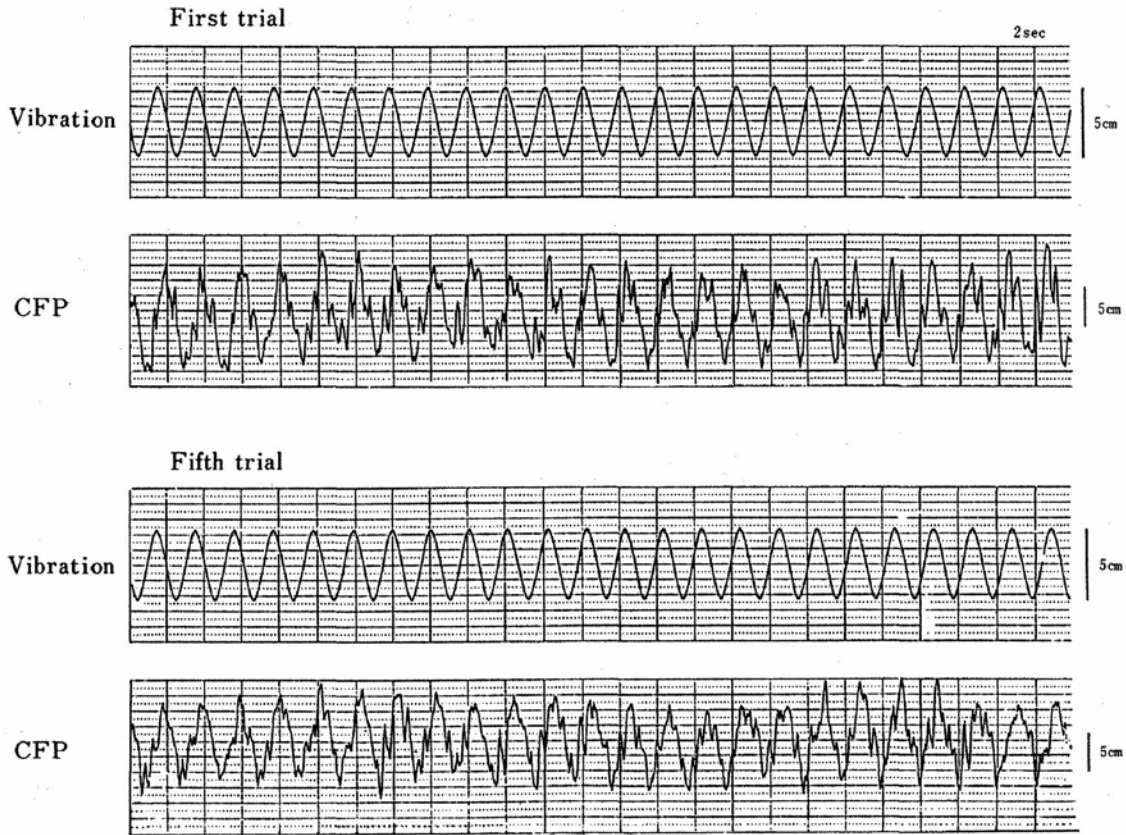


図2 Example that the mean speed of center of foot pressure (MS-CFP) did not change by five trials

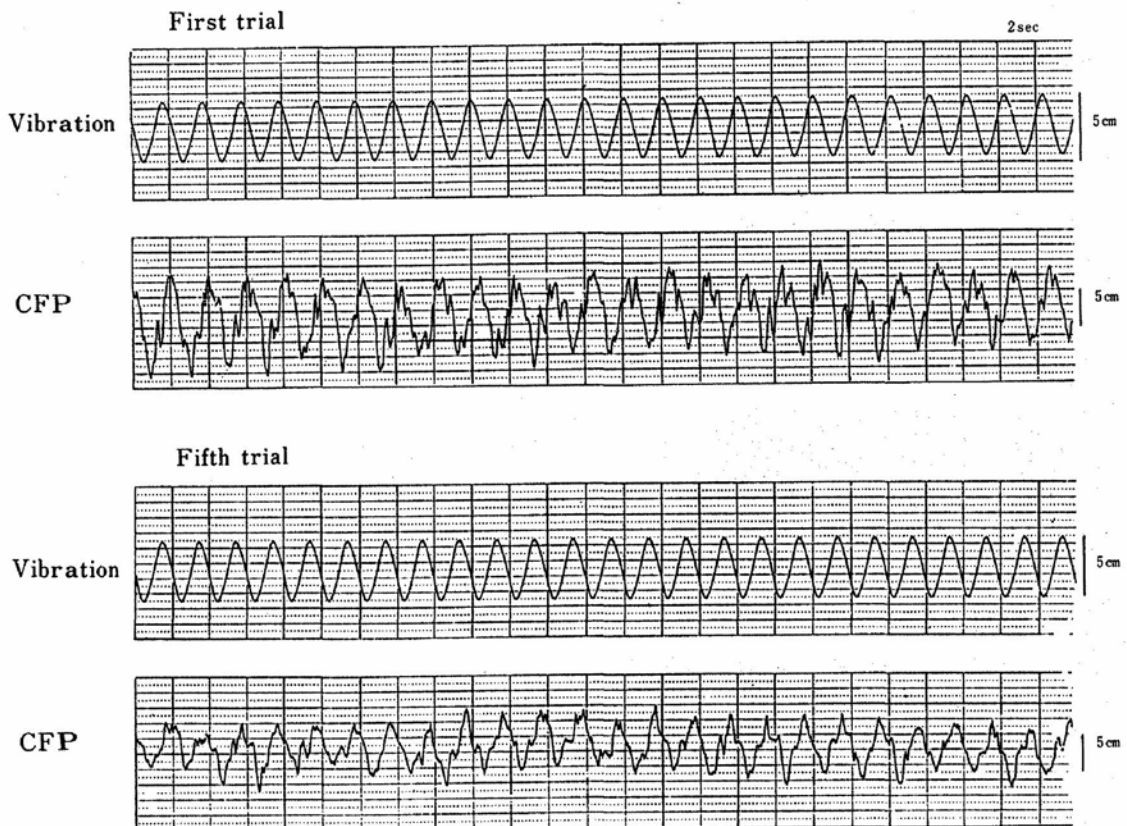


図3 Example that MS-CFP decreased by five trials

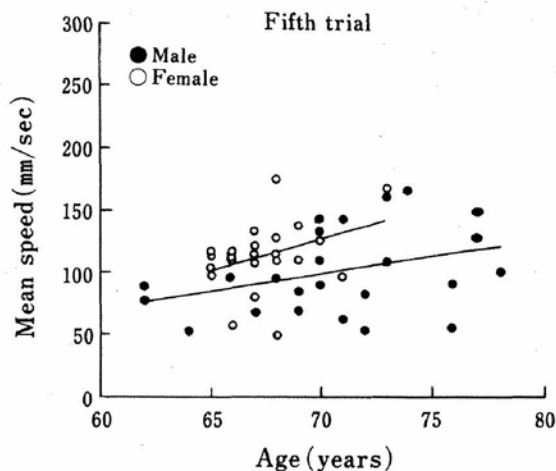
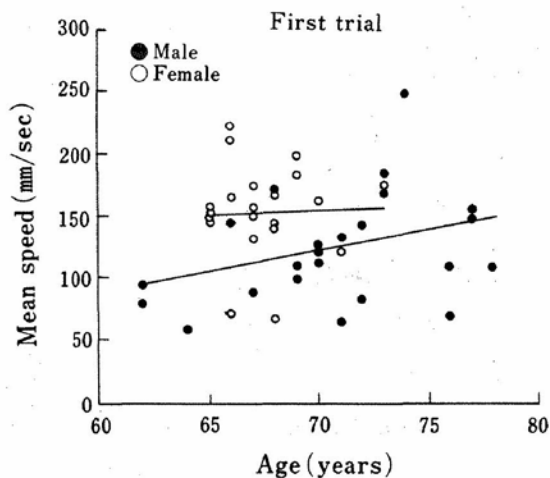


図4 MS-CFP of each subject in the first trial (left figure) and the fifth trial (right figure) in old age group

上した例である。このように、老人の平衡機能の適応能に、著しい個人差が認められた。

図4に老人の第1試行および第5試行における、年齢とMS-CFPの相関関係を示した。そのいずれの試行でも、年齢とMS-CFPの間に有意な相関が認められず、加齢によるMS-CFPの顕著な増加が認められなかった。

試行によるMS-CFPの変化を、図5に示した。若年者の値は、いずれの試行でも有意な性差を示さず、男女とも第3試行までに急速に減少した。隣接する試行で、有意差を示したのは、第3試行までであった。それ以後は有意差が認められな

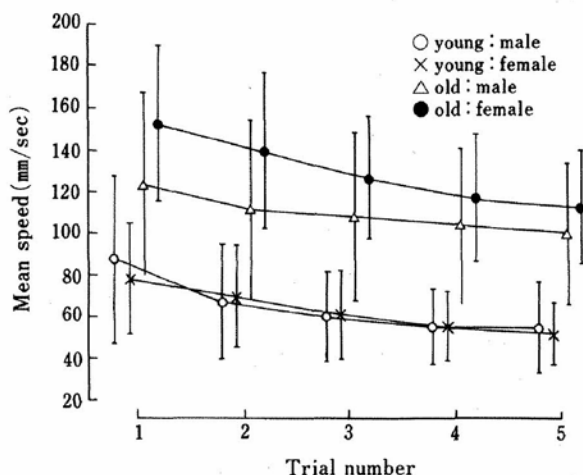


図5 Mean and standard deviation of MS-CFP in each trial for young and old age groups

かった。老人の値は、いずれの試行回でも若年者に比べて有意に大きかった。また男子よりも女子の方が大きい値を示す傾向があり、有意な性差は第3試行まで認められた。試行による値の変化にも性差が認められ、男子は第2試行で有意に減少し、その後隣接する試行間で有意差が認められなかった。それに対して女子では、第4試行まで隣接間で有意差を示し減少した。

全被験者の第1試行と第5試行のMS-CFPの

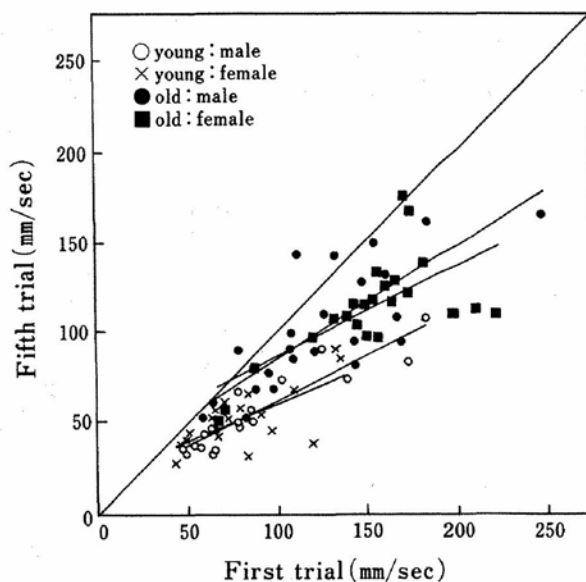


図6 Correlation of MS-CFP between the first trial and the fifth trial

相関関係を図6に示した。その中に若年者と老人の男女別の回帰直線を示した。相関係数は、若年者男子0.920, 女子0.686, 老人男子0.798, 女子0.679であり、いずれも有意な相関であった。回帰式は次のようになった。

若年者男子: $y = 0.50x + 11.473$

若年者女子: $y = 0.40x + 20.346$

老人男子: $y = 0.62x + 22.946$

老人女子: $y = 0.50x + 37.096$

老人を含めいずれの群でも第5試行までに平衡機能が向上することが明らかになった。また、第1試行で大きな値を示したもののほど、第5試行に大きく減少する傾向があった。ただし、多くの老人が若年者の分布よりも上方に位置していた。また若年者では、第5試行に全員の値が減少しているのに対して、老人では4名の者が第5試行で第1試行よりも増加し、またほとんど変化ない者も数名認められた。それらの割合は、約15%であった。

年齢と第1試行に対する第5試行のMS-CFPの割合の相関関係を、図7に示した。男子は有意な相関を示さず年齢による値の変化が認められなかった。それに対して女子は有意な相関を示し、加齢によって値が増加した。若年者のその割合は、男子 0.648 ± 0.1046 , 女子 0.689 ± 0.1497 であり、老人のその割合は、男子 0.827 ± 0.1717 , 女

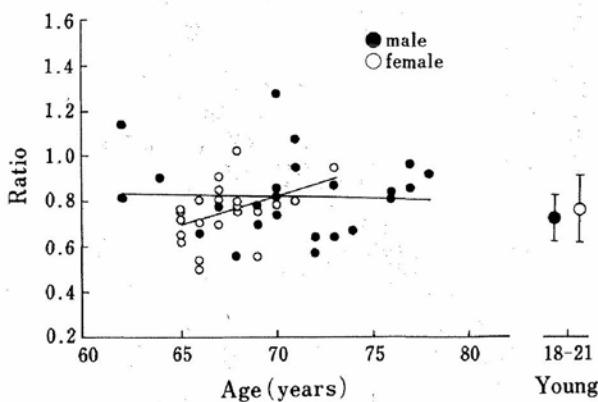


図7 MS-CFP ratio of the fifth trial to the first trial

子 0.753 ± 0.1208 であり、老人の方が高い値を示す傾向が認められ、その差は男子で有意であった。

4. 考 察

4.1 平衡機能の性差

安静立位姿勢の身体動揺の大きさによって、安定性の性差が検討されている。3歳~10歳では、女子の方の安定性が高いと、報告されている^{11,13)}。人においては、女子の方が安定性が高いという報告と、性差はみられないという報告とがある。それらの報告は、身体動揺の大きさを示す値(動揺面積、動揺軌跡長および平均振幅)を、身長あるいは計測点の高さで規準化している報告と、そうでない報告に大別でき、それによって性差についての結果に違いが認められる。規準化していない報告^{10,18,21,24)}では、いずれも女子の方が安定性が高い傾向があると報告している。他方、規準化している報告^{15,22,30)}では、有意な性差は認められない。身体動揺は、一般的には足関節を基軸とする回転運動として捕らえられる。回転の大きさで安定性を評価するのが妥当であるとすれば、足圧中心動揺は、重心高あるいは身長で、また、身体各部位の動揺はその計測点の高さで、その大きさを規準化する必要がある。そのような補正を行った場合には、成人では認められないか、あるいは縮小するものと考えられる。

本研究のような動的な平衡機能については、性差はほとんど検討されていない。本研究では、先行研究⁵⁾を参考にしてMS-CFPに身長補正を施し、若年者にはいずれの試行回でも性差が認められなかった。それに対して、老人では第3試行までは、女子よりも男子の方が低い値を示し、平衡機能が優れていた。それ以上の試行回では、有意な性差は認められなかった。また、第1試行と第5試行のMS-CFPは、男女ともほぼ同一回帰直線上に分布しており、平衡機能の適応能には性差

がないものと考えられる。第1試行で性差が認められたことに関しては、それまでに経験した動的平衡機能の差、あるいは運動経験の差などが、関係したものであるのかもしれない。今後の検討課題としたい。

4.2 老人の平衡機能の適応能および訓練

老人の床振動時の平衡機能は、いずれの試行回でも若年者よりも有意に低いことが明らかになった。また、一部の者(約15%)は、5回の試行でほとんど平衡機能が向上しなかった。加えて、第1試行と第5試行のMS-CFPの相関図は若年者に比べて上方に位置しており、適応能は低いと判断される。しかし、老人の多くの者(約85%)には、平衡機能の適応能がある程度存在することが明らかになった。また、適応能の個人差も大きく、若年者と同程度の者も認められた。

平衡機能の訓練効果については、福田⁹⁾の先駆的な研究がある。そのひとつに、床振動に近い刺激の加わるブランコで、鶏を訓練することがなされている。その結果などから、passiveな運動刺激に対しても、activeな運動姿勢をとることが、運動の習熟に大切なことであり、めまいや酔いを防ぐことにもなるとしている。また、訓練によって、新たな平衡反射が形成され、平衡反射が錐体路系の積極的な統御のもと前景へと喚起され、随意的に使いこなされるようになると解釈されている。こうした訓練の概念は、運動調節の自動化、運動プログラムの形成、反応性の制御から予測性の制御への変化と、共通するものであると考えられる^{1,20)}。

ここで注目されるのは、平衡機能の訓練が、随意的な運動に付随してなされるということである。随意運動時に平衡維持のための自動的な姿勢調節が付随することについてはSherrington²⁵⁾が、言及している。最近では上肢などに焦点を当てた運動時の姿勢調節の研究が数多く報告されている^{2,29)}。しかし、高齢者を対象とした訓練効果に

ついては、明確にされていない。Sakamoto²³⁾や小林¹⁴⁾は、老人の日常生活における身体活動量が、静的な平衡機能に対してではあるが関係していることを報告している。これは、運動にともなって平衡機能が向上することを示唆しているように思われる。

老人の平衡機能の訓練については、本研究の適応能に関する結果が参考になろう。老人の平衡機能の適応能は、若年者ほどではないが存在することが明らかになった。床振動は、日常それほど経験しているものではなく、このような刺激に対して適応できるということは、平衡機能の訓練効果はある程度期待できるものと考えられる。ただし、適応能がほとんど認められなかった者もあり、平衡機能の訓練効果がでない者がいることも、十分予想される。これに関しては、各種の随意運動を含め、長期に渡る平衡機能の訓練を実際に施し検討することが必要と考えられる。

結 論

老人(48名)と若年者(39名)を対象に、1分間の床振動を5回反復負荷し、足圧中心動揺の平均速度の変化より、平衡機能の適応性について検討し、次のような知見を得た。

1) 老人の平衡機能は、いずれの試行回においても若年者より有意に劣っていた。

2) 5回の試行を繰り返した場合、若年者の平衡機能は全員が向上したのに対して、老人においては、平衡機能に向上が認められない者が約15%おり、若年者に比べ平衡機能の適応能は低いものであった。しかし中には、若年者と同程度に向上する者も認められ、きわめて大きい適応能の個人差が存在した。

3) 若年者については、いずれの試行回でも有意な平衡機能の性差が認められなかった。老人においては、第3試行までは女子よりも男子の方が有意に平衡機能が優れているが、女子の方が試行

を重ねることによる向上の割合が大きく、それ以後の試行回では有意な平衡機能の性差が認められなかった。第1試行で平衡機能が劣っていた者ほど試行を重ねることによる平衡機能の向上が著しい傾向は、男女に共通して認められた。したがって、平衡機能の適応性については、有意な性差はないものと考えられた。

4) 以上の結果は、老人の平衡機能の訓練効果の特徴を示唆するものであると考えられた。

謝 辞

本研究は石川県松任市の山島地区老人会の協力を得て行なわれた。深謝いたします。

文 献

- 1) Brooks, V. B.; The neural basis of motor control, Oxford University Press, New York (1986)
- 2) Cordo, P. J., Nashner, L. M.; Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements, *J. Neurophysiol.*, **47**, 287-302 (1982)
- 3) Fernie, G. R. et al.; The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects, *Age and Aging*, **11**, 11-16 (1982)
- 4) 藤原勝夫ほか; 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与, *人類誌*, **90**, 385-400 (1982)
- 5) 藤原勝夫, 池上晴夫; 床振動時の立位姿勢の応答特性, *体育学研究*, **29**, 251-261 (1984)
- 6) 藤原勝夫; 立位姿勢保持における水平床振動の知覚, *いばらぎ体育・スポーツ科学*, **1**, 2-6 (1986)
- 7) 藤原勝夫ほか; 水平床振動を繰り返し負荷した場合の立位姿勢調節の変化, *体力科学*, **37**, 25-36 (1988)
- 8) Fujiwara, K. et al.; Development of the adaptability of postural control during floor vibration, *Disorders of posture and gait*, 1990, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 185-189 (1990)
- 9) 福田 精; 運動と平衡の反射生理, 医学書院, 東京 (1981)
- 10) Hellebrandt, F. A., Tepper, R. H.; The loca-

tion of the cardinal anatomical orientation planes passing through the center of weight in young adult women, *Am. J. Physiol.*, **121**, 465-470 (1937)

- 11) 平沢弥一郎, 青木賢一; 日本人の直立能力について, 第2回姿勢シンポジウム論文集, 姿勢研究所, 41-46 (1976)
- 12) 亀山正邦ほか; 一過性脳虚血発作, *日耳鼻*, **86**, 1228-1231 (1983)
- 13) 小島幸枝, 竹森節子; 小児の身体平衡の発達について, *耳鼻臨床*, **73**, 865-871 (1980)
- 14) 小林祥泰ほか; 正常高齢者における重心動揺と脳循環, 知的精神機能との関連について, *姿勢研究*, **7**, 1-6 (1987)
- 15) 松岡豊彦; 起立時身体動揺の定量的解析, *耳鼻臨床*, **70**, 1191-1280 (1977)
- 16) 宮崎 学; 起立性低血圧, とくに老年者を中心に, *現代医療*, **10**, 1166-1170 (1979)
- 17) Mulch, G., Petermann, W.; Influence of age on results of vestibular function test, *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*, **88**, Suppl., 56, 1-17 (1979)
- 18) Murray, M. P., Seireg, A. A.; Normal postural stability and steadiness quantitative assessment, *J. Bone and Joint Sur.*, **57**, 510-516 (1975)
- 19) 中西光雄ほか; 日本人の体力標準値, 第4版, 不昧堂出版, 東京 (1989)
- 20) 種田行男ほか; 高齢者の日常生活における身体活動能力(生活体力)測定法の開発に関する研究, 第1報, 姿勢保持能力について, *体力研究*, **78**, 1-9 (1991)
- 21) 岡部多加志; 神経内科領域における二次元重心動揺記録装置の臨床的応用, *慶応医学*, **51**, 265-277 (1975)
- 22) 坂口 明, 角田興一; 重心移動量による平衡機能の評価, *体力科学*, **26**, 64-69 (1977)
- 23) Sakamoto, M. et al.; Influence of the amount of daily activity on movement of the center of gravity in standing posture, *J. Phys. Ther. Sci.*, **1**, 21-24 (1989)
- 24) Sheldon, J. H.; The effect of age on the control of sway, *Geront Clin.*, **5**, 129-138 (1963)
- 25) Sherrington, C.; The integrative action of the nervous system, Arno press, New York (1973)
- 26) Smyth, M. M., Wing, A. M.; The psychology of human movement, Academic Press, New York (1984)

- 27) Spooner, J. W. et al.; Effect of aging on eye tracking, *Arch. Neurol.*, **37**, 575-576 (1980)
- 28) 畝 正二ほか; 中高年齢者の労働災害防止のための平衡機能に関する調査研究, 労委研, 63-8 (1989)
- 29) Woollacott, M. H. et al.; Preparatory process for anticipatory postural adjustments modulation of leg muscles reflex pathways during preparation for arm movement in standing man, *Exp. Brain Res.*, **55**, 263-271 (1984)
- 30) 山本高司; 直立時動揺の年齢による変化, 体力科学, **28**, 249-256 (1979)
- 31) 山内治男; 高齢者の前庭機能障害に関する臨床的研究, 岩手医誌, **25**, 212-219 (1973)
- 32) 吉田昭男, 岡本 健; 視運動眼振におよぼす加齢の影響, *Equilibrium Res.*, **36**, 114-115 (1977)