

重心動揺計を用いた高齢者の開眼片足立ちに関する評価

後藤 真 佐藤 佑

キーワード：重心動揺計、開眼片足立ち、高齢者、足底圧力中心、ロンベルグ率

Evaluation of balancing on one leg with eyes open using stabilometer in the elderly

Shin Goto Tasuku Sato

Abstract

The purpose of this study was to examine authenticity and adequacy of balancing on one leg with eyes open by measuring the center of pressure (COP) sway on static standing posture.

The subjects of this study were seventeen subjects that were four males (age: 65.3 ± 6.9 yrs) and thirteen females (age: 66.7 ± 4.4 yrs).

We used stabilometer (Sanei Medis, Inc.: 1G06), software for Windows (Medical Tri-system, Inc.) and stopwatch (SEIKO, Inc. as our measuring device). The measuring method for COP sway was standard inspection method which was of stabilometry, and we recorded sixty seconds with both eyes open (EO) and eyes closed (EC). Measuring method for balancing on one leg with eyes open was used which was performed in Japan Fitness Test since 1998 for the 65 ~ 79 yrs of age.

Parameter of COP relevance with this study correlated significantly, eight variables per a hundred sixty-five versus balancing on one leg with eyes open. In addition, this correlation coefficient was minus to seven variables per eight variables, then five variables was EC. The largest correlation coefficient was Romberg's quotient (Enveloped area: ENV AREA).

The COP displacement synchronized the center of mass (COM), our results suggested that effectiveness of stabilometer that was used in this study, and there was substantially authenticity and adequacy for field test because balancing on one leg with eyes open correlated the COP.

Key words : stabilometer, balancing on one leg with eyes open, the elderly, center of pressure, Romberg's quotient

1. はじめに

高齢者の体力は ADL 活動を中心とした生活体力が基本概念であり、脚力を中心とした行動体力が重視され、その中に歩行などの移動能力、体位バランスや姿勢保持の基本動作が含まれ、高齢者の事故や障害発生を防止する体力維持が期待されている (永田, 1996)。このような状況下で、高齢者向けの種々の体力増強のためのトレーニングが開発され実施されており、体力測定により評価されている (廣畑ら, 2006; 井上ら, 2001; 奥野ら, 2003; 奥野ら, 2001; 鈴木ら, 2003; 辻ら, 2002)。トレーニングにより、重心動揺が改善したという報告もなされている (中谷ら, 2001)。それにも関わらず、寝たきりの大きな原因である高齢者の転倒に関する多くの研究がある (小笠原ら, 2003)。その中には、心理的問題を扱った報告もあることから、身体的な体力だけでなく精神的な体力の重要性も窺うことができ、たとえば、心理的問題を表す代表的な語句に“転倒不安”がある (梅田ら, 2002; 分木, 2004)。寝たきりの原因は老衰を除くと脳血管疾患に次いで骨折が多く、大腿骨頸部骨折の大半が転倒や転落が原因と報告されている (岡山ら, 2004)。転倒は身体のバランスの崩れにより発生するが、身体を支える十分な体力があれば転ばずにすむ可能性が高い (岡山ら, 2004)。また、高齢者の転倒は、そのほとんどが歩行中や階段の昇降中などでのつまずきやスリップ等により起こる (井上ら, 2002)。

現在、神経生理学の一分科である Posturology は発展途上の学問であり、平衡性の研究においては前庭脊髄システムの変質のみの言及が可能となっている (Gori et al., 2005)。平衡 (バランス) 能力には、動的バランス能力 (ランニングやジャンプ等) と静的バランス能力 (立位姿勢の保持) という考え方がある (林ら, 2004; 御手洗, 1990; Shumway-Cook A. et al., 2001)。ヒト身体が重力場において平衡性を維持するために倒立振り子 (inverted pendulum) としてモデル化され (図 1)、直立姿勢制御が解析されている (Winter D.A. et al., 1998)。しかし、ヒト身体の構造上、平衡性維持は各関節動作の相互作用による微調整を必要とし、支持基底面 (Base of support; BOS) 範囲内 (安定限界) への質量中心 (Center of mass; COM) の投影を必要とする (図 2)。COM が BOS で維持されるとき、物体は安定であるとみなされている。各々の体節 (body segment) による COM の加重平均を検出することにより決定される COM は、全体型の中心となる点として考えられている。COM の垂直投影はしばしば重心 (Center of gravity; COG) として捉えられている。静的姿勢時における安定限界は、地面と接触している両足の外縁によって囲まれた面積であると捉えられ、安定限界は一定の限界が無く、動的バランスや静的バラ

ンスが要求される課題、ヒトの生体力学、環境における種々の局面によって変化する (長谷, 2006; Mark L., 1998; Shumway-Cook A. et al., 2001)。



図 1 重力場におけるヒト身体倒立振り子モデル (文献 20 より引用)



図 2 重力場におけるヒト身体の構造 (文献 20 より引用)

フィールドテスト特に体力科学の分野で静的平衡をみる測定法として、閉眼片足立ち、開眼片足立ちが実施されており、動的平衡はファンクショナル・リーチテスト (FR テスト), Functional Base of Support (FBOS), 種々の FR テストの変法, その場足踏みテストが実施されている (井上ら, 2002; 井上ら, 2001; 木村, 2000; 奥野ら, 2003; 奥野ら, 2001; 鈴木ら, 2003)。他方、実験室環境下や医療分野で静的平衡をみる測定法として、床反力計 (force plate あるいは force platform) や重心動揺計 (stabilometer あるいは posturography)、また 3D OPTOTRAK imaging system と force platform を組合せた装置等を用いた測定が実施されており、動的平衡は床反力計等を用いた測定が実施されている (木村, 2000; 戸川, 1986; 時田, 1995; 時田ら, 1995; Winter D.A. et al., 1998)。平衡能力について、その定義はまだ統一されていない (Shumway-Cook A. et al., 2001) が、一般的に自然立位姿勢時の身体安定性はヒトの直立能力と見なされ、平衡能力を反映する指標となっている (江ら, 2003)。したがって、自然立位時の重心動揺および開眼片足立ちは静的バランスを評価する測定であると考えられる。平衡能力の評価手法および評価指標として、主に自然立位姿勢時の床反力の重心、いわゆる足底圧力中心 (Center of pressure; COP) が利用されている (江ら, 2003)。特に、静的平衡能力は平衡機能の基本であり、高齢者の転倒、骨折等に深く関連している (木村, 2002)。そのため、ヒト対象の転倒予防のための姿勢反応に関する運動学および動力学を研究し、転倒の可能性のある健常者および病的な者に対する定量化可能なアプローチを与えたという報告もある (Bortolami et al., 2003)。

したがって、新体力テストの一測定項目である開眼片足立ちは平衡機能のある程度正確に評価するものでなければならない。しかし、新体力テストが平成 10 年度に

施行されはじめ(小林ら, 2002)日が浅い為か、このような検討は少ない(奥野ら, 1997; 奥野ら, 1995)。また、新体力テストのねらいと特徴の項目に「信頼性、妥当性が高いテスト項目とする」とある(文部省, 2000)。

そこで本研究は、フィールドテストである新体力テスト(65歳~79歳対象)の開眼片足立ちの信頼性および妥当性について実験室環境下等で実施される静的直立姿勢時におけるCOP動揺を測定することにより検討し、評価した。

II. 方法

2.1 被験者

被験者はS大学スイミングスクールに通う17名の高齢者(男子4名:年齢 65.3 ± 6.9 歳, 女子13名:年齢 66.7 ± 4.4 歳)であった。各被験者には事前に実験の趣旨を説明し、参加の同意を得た。

2.2 実験器材

本研究の測定装置は重心動揺計(三栄メディス社製:1G06)、平衡機能計測 for Windows(メディカルシステム社製)およびストップウォッチ(セイコー社製)を用いた。この装置は検出台上に直立させた被験者の身体重心の揺らぎを台の下に装置した検出器で荷重の変化として捉え、その変化を電気的信号として出力する機器であった。

2.3 実験手順

実験は測定前に被験者をしばらく安静にした後、COP動揺、開眼片足立ちの順序で測定を行った。

COP動揺測定は均質な明るさの個室(S大学C棟1F演習室)において1名ずつ測定した。COP動揺の測定方法は重心動揺検査の基準(日本平衡神経学会, 1983)による検査方法に従った。被験者に靴を脱いでもらい、足底中心が検出盤上の基準点と一致するようにし、開足または踵を接し足尖を開き、両上肢を体側に軽く接し自然に直立してもらった。それに付随して、視点は約 1×1 cm四方の市販のビニールテープ(赤色)を用いて、各被験者の正面、眼の高さに合わせて壁に貼り、それを注視してもらった。なお、検出盤の先端と壁との距離は1mとした。COP動揺がある程度安定してから測定を開始し、開眼(EO)および閉眼(EC)の状態で各々60秒間記録を行った。また、眼鏡使用者には眼鏡をかけてもらった状態で測定した。一方、COP動揺測定時に騒音は免れ得なかった。

開眼片足立ち測定はS大学C棟1F実験室において一斉に測定した。開眼片足立ちの測定方法は新体力テスト(文部省, 2000)による検査方法に準じた。また、COP

動揺測定と同様に眼鏡使用者には眼鏡をかけてもらった状態で測定した。

測定日時は平成18年7月3日から同年7月7日の各々午前8時から午前11時の間に測定した。

2.4 先行文献に基づいたデータの取扱い

今岡ら(1997)は2201名の被験者(男子1013名:0-89.9歳, 女子1188名:0-89.9歳)を対象に“重心動揺検査の健常者データ”を集計した。その資料の一部である60歳から74.9歳までの男女の結果に対し、標本数が男女合せて100を超えることからZ検定をおこなった。この結果によると、14変量のうち外周面積(EO)、実効値面積(EO)、単面軌跡長(EC)の3変量のみに有意差のないことが確認された。すなわち、11変量に男女差が認められた($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$)。一方、Eraら(2006)は7979名の被験者(30歳以上)を対象にforce platform systemを用い、開眼・閉眼時の標準的立位などによる実験条件での測定に加え、フィールドテストによってもバランス能力を評価し、共に性差が認められることを報告した。他方、Fujitaら(2005)は144名の被験者(男子51名:22-89歳, 女子93名:22-89歳)を対象に動揺距離などのパラメタに性差は認められないことを報告した。さらに、Wolfsonら(1994)は234名の高齢者(76 \pm 5歳, 女子52%)を対象にEO・ECなどの条件で、静的直立姿勢中のバランスに性差が認められないことを報告した。したがって、前二者と後二者の標本数に顕著な違いがみられ、そのことが性差に関する結果に強く反映したと考えられる。それ故、上記の先行研究による結果を踏まえ、本研究では少ない標本数であるから性差を無視してデータ解析を行うことにした。各パラメタは、測定波形(9変数)、ベクトル(48変数)、距離・面積(8変数)、振幅確率密度分布(6変数)、ロンベルグ率(3変数)、パワースペクトル(10変数)、開眼片足立ちの7つである。

2.5 データ解析

開眼片足立ちとCOP動揺測定によって得られた165変数との関係を検討するために、相関分析を適用し解析した。すなわち、両者による相関係数を計算し、相関係数が0であるかないかを無相関検定によって評価した。

III. 結果

3.1 開眼片足立ちと足底圧力中心(COP)との関係

COPは主に、測定波形、ベクトル、距離・面積、振幅確率密度分布、ロンベルグ率、パワースペクトルに分類されている(Kitabayashi et al., 2003; Kitabayashi et al., 2004; 北林ら, 2003; 山次ら, 2001)。開眼片足

立ちとこれら分類項目との関係を以下の小項目において提示した。

3.1.1 開眼片足立ちと測定波形 (EO) との関係

全ての測定波形パラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

3.1.2 開眼片足立ちと測定波形 (EC) との関係

3.1.1と同様に、全ての測定波形パラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

3.1.3 開眼片足立ちとベクトル (EO) との関係

48変数のうち、225°~270°の範囲に分布する位置ベクトル回数と315°~360°の範囲に分布する速度ベクトル回数の2変数に有意な相関関係が認められた。

3.1.4 開眼片足立ちとベクトル (EC) との関係

48変数のうち、135°~180°の範囲に分布する位置ベクトル回数、135°~180°の範囲に分布する位置ベクトル長、315°~360°の範囲に分布する位置ベクトル回数、270°~315°の範囲に分布する速度ベクトル平均の4変数に有意な相関関係が認められた。

3.1.5 開眼片足立ちと距離・面積 (EO) との関係

全ての距離・面積パラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

3.1.6 開眼片足立ちと距離・面積 (EC) との関係

8変数のうち、前後径に有意な相関関係が認められた。

3.1.7 開眼片足立ちと振幅確率密度分布 (EO) との関係

全ての振幅確率密度分布パラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

3.1.8 開眼片足立ちと振幅確率密度分布 (EC) との関係

3.1.7と同様に、全ての振幅確率密度分布パラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

3.1.9 開眼片足立ちとロンベルグ率との関係

3変数のうち、外周面積に関するロンベルグ率に有意な相関関係が認められた。

3.1.10 開眼片足立ちとパワースペクトル (EO) との関係

全てのパワースペクトルパラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

3.1.11 開眼片足立ちとパワースペクトル (EC) との関係

3.1.10と同様に、全てのパワースペクトルパラメタと開眼片足立ちに相関関係は認められなかった。

以上の結果から、COPに関するパラメタは、開眼片足立ちに対し、全165変数のうち8変数に有意な相関関係が認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。さらに8変数のうち7変数が負の相関であり、うち5変数がEC時であった。また、相関係数が最も大きかったのはロンベルグ率(外周面積)であった(表1)。ロンベルグ率が1よりも大きい数値を示した者は全体の7割であった(図3)。また、ロンベルグ率が1に近い者程、開眼片足立ち保持時間が長く、ロンベルグ率が1から遠い者程、開眼片足立ち保持時間が短くなる傾向が窺えた(図4)。

表1 有意性の認められた相関係数

| 開眼片足立ち | | |
|-------------------|-------|----|
| 225 位置:回数 (EO) | 0.49 | * |
| 315 速度:回数 (EO) | -0.51 | * |
| 135 位置:回数 (EC) | -0.66 | ** |
| 135 位置:ベクトル長 (EC) | -0.51 | * |
| 315 位置:回数 (EC) | -0.55 | * |
| 270 速度:平均 (EC) | -0.51 | * |
| 前後径 (EC) | -0.52 | * |
| ロンベルグ率 (外周面積) | -0.71 | ** |

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

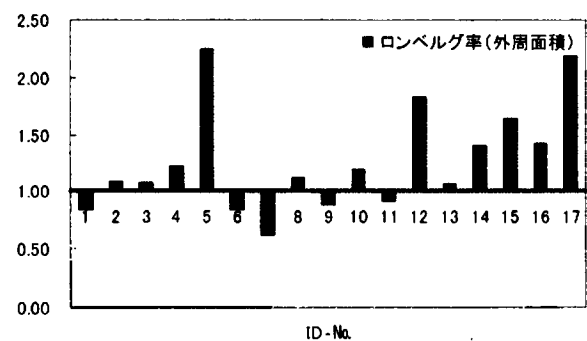


図3 ロンベルグ率 (外周面積)

IV. 考察

人間のバランス能力は、①姿勢反射、②転倒につながる刺激に対する随意反応、③その刺激の予測に基づいた予測的姿勢調節 (Guerraz M., 2001) という3つの要素によって構成されている。①は反射であるから脊髄や脳

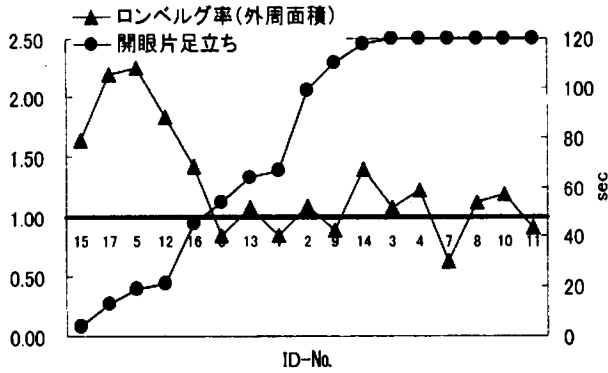


図4 ロンベルグ率 (外周面積) および開眼片足立ちの関係

幹を反射中枢として無意識のうちに自動的に生じ、動作パターンも生得的に決定している。②は大脳半球における意思による確認を経由するため、反射よりも時間がかかり、状況に応じて生じる動作は様々である。③は予測に基づくフィードフォワード制御能力としての予測性姿勢調節能力である。①および②は、受容器や受容器から始まる伝達のニューロン経路の最初(感覚受容器から脊髄・脳幹まで)と最後(α 運動ニューロン)の部分は共通である(大築, 2003)。姿勢の乱れを感知する受容器には、前庭器、体性感覚器、視覚器がある(大築, 2003; 朴澤, 1995; 渡辺, 2001)。3つの系は各々、重力、支持基底面、身体と物体との関係に関する複合的知覚連関(multi sensory references)である(Shumway-Cook A. et al., 2001)。これらの受容器で感知された身体や外部環境の状況は中枢神経系で処理され、必要な骨格筋が活動し、姿勢の安定を保つための動作が発現する。実際の姿勢制御機構はこれら感覚受容器からの情報が全て統合され、状況に応じて利用され、身体全体の多関節動作として発現する非常に複雑なシステムであり、その詳細な経路はまだよく解明されていない(大築, 2003)。それにも関わらず、事実上、研究者は明らかにされていないメカニズムと制御原理が関与させられた医療判断学において、姿勢維持に関する簡単な能力測定法を用いている(Winter D.A. et al., 1998)。そこで、Winterら(1998)は各々COM位置とCOP位置を決定できる3D OPTOTRAK imaging systemと床反力計(force platform)を用いた生体力学的研究から、COPがCOMに同調することを実証した(図5)。したがって、本実験で使用した重心動揺計はCOPを測定する機器であったから、平衡能力測定に有用であると考えられる。

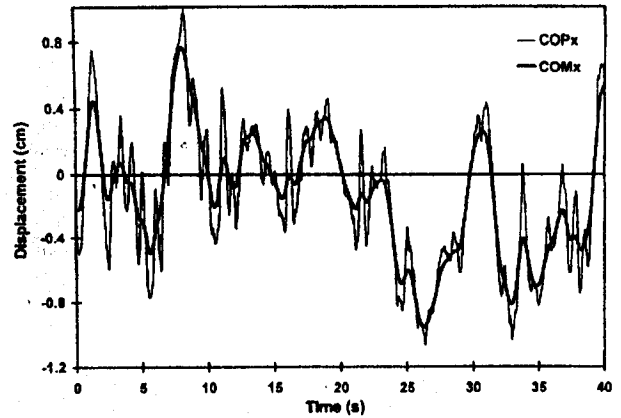


図5 被験者を静的に起立させた標準的な40秒間の記録。前後方向(A/P方向)における足底圧力中心(COP)と質量中心(COM)は、常に同調してCOMをCOPが“追跡”しており、COMの両方向(上下)に揺れ動いている(文献46より引用)。

ヒトの姿勢調節に対する前庭感覚、体性感覚、視覚の貢献度については、これまで様々な研究が行われている(朴澤, 1995)。これらすべての感覚経路を遮断すればヒトは立ってられないが、少なくとも1つ残っていれば姿勢は一応保持できると考えられる(大築, 2003)。本実験において、COP動揺測定時に眼の開閉の条件を与えたことにより視覚経路を遮断、開眼片足立ち測定時に片足の条件を与えたことにより体性感覚経路を一部遮断したが、姿勢を保持または一定時間(120秒程度)保持することが可能だった。

COP動揺および開眼片足立ちは静的平衡機能を評価する測定であることから、両者には相関関係が認められなければならない。両者の関係を相関分析により検討した(表1)。 $135^{\circ} \sim 180^{\circ}$ と $315^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲に分布する位置ベクトル回数(EC)の2変数は反対方向に位置しており、足関節の構造上、開眼片足立ち保持時間が短いほど前後の動揺が目立つものと考えられる。すなわち、前後径はy軸方向の最大値と最小値との差であるから、開眼片足立ちと前後径(EC)とも相関関係が認められたものと考えられる。さらに、 $270^{\circ} \sim 315^{\circ}$ の範囲に分布する速度ベクトル平均(EC)はその範囲に力が加わっていることを表しており、先の位置ベクトル(EC)の一方向と類似している。これは、y軸後方に身体が傾斜するのを防止するために前方よりもより大きな力が加わったためと考えられる。一方、他2変数(EO)については不明である。また、ロンベルグ率(外周面積)は、外周面積の開眼値と閉眼値の比率(閉眼÷開眼)である。また、外周面積は検出盤が被検者のCOP動揺を感知し、記録して出来た軌跡の外形の面積のことである。ロンベルグ率

は元来、閉眼値と開眼値との比の百分率として表現されていた。すなわち、

$$QR = \frac{\text{value with eyes closed}}{\text{value with eyes open}} \times 100 \text{ と表される}$$

(Van-Paris et al., 1976)。一般的に開眼時に比べ、閉眼時に姿勢動揺の不安定度が増大し (今岡ら, 1997; Morioka et al., 2000)、本実験においてもそのような傾向が見られた。

James ら (1978) は、実験群 39 名および対照群 105 名の計 144 名 (実験群: 膝下切断, 対照群: 非膝下切断) の被験者を対象として、姿勢動揺制御に関する視覚入力の重要性を検討し報告した。彼らは視覚、固有感覚、前庭メカニズムの三者が正常な静的平衡と同等であるという考えのもとに群間を比較し、固有感覚の損失の程度を評価した。実験群は対照群に対し、開眼時と閉眼時の動揺軌跡には差が認められなかったが、開眼値と閉眼値の比に有意差を認めた ($p < 0.001$)。したがって、非膝下切断群と膝下切断群を区別するのにロンベルグ率が有効であるとし、ロンベルグ率の臨床的有効性を報告した。また、実験群は対照群に比べ視覚依存度が大きい。すなわち、固有感覚フィードバックが劣位であるとき、姿勢動揺制御に対する視覚入力の寄与は特に重要であり、膝下切断者の場合、この視覚依存度増大は固有感覚損失により完全に補償されることを意味すると報告した。また、Golomer ら (1999) は、男子の成人舞踏家と非訓練者を被験者とし、姿勢制御と知覚に対する視覚依存度を研究した。前者は後者に比して姿勢制御、知覚に対する視覚依存度が著しく低いことを報告した。このことは、舞踏家の訓練が固有受容入力の精度を高めて、視覚から固有感覚へと感覚運動優位に移行するのだらうと推察した。

本実験で用いたロンベルグ率は、閉眼値と開眼値との比であることから、上述のような QR と本質的な違いは無く、視覚がどの程度 COP 動揺に寄与しているかを表す指標となる。すなわち、ロンベルグ率が大きくなればなるほどバランス能力に及ぼす視覚依存度が大きいと考えられ、ロンベルグ率が小さくなればなるほど、バランス能力に及ぼす視覚依存度が小さいと考えられる。

ヒトの姿勢制御機構は 3 つの受容器の複合的な作用によりバランスを保持しているが、視覚依存度の小さい者ほど、相対的に他の 2 つの受容器の感受性が優れていると考えられる。また、James ら (1978) の報告から開眼片足立ちは一時的にはあるが、膝下切断と類似した状態を再現しているものとみなせる。したがって、図 4 から明らかなように視覚依存度の小さな者は特に体性感覚が優れていると考えられ、体性感覚を一部遮断した開眼

片足立ちの評価が高いと推測される。

本研究の結果より、開眼片足立ちと COP 動揺との間に相関関係が認められた。また、ヒト姿勢制御機構の 3 つの受容器のうち、ロンベルグ率において視覚依存度を定量化し、視覚依存度の低い者ほど開眼片足立ちの評価が高く、視覚依存度の高いものほど開眼片足立ちの評価が低い傾向が窺えた。したがって、本研究および Winter ら (1998) の研究により、フィールドテストである新体力テスト (65 ~ 79 歳) の開眼片足立ちはバランス能力を測定する方法として有用であると考えられる。今後、測定中の騒音回避、前庭感覚依存度の定量化と合わせて検討すべきであろう。

V. まとめ

本研究は、相関分析を駆使することにより、フィールドテストである開眼片足立ちについて、実験室環境下等で利用されている足底圧力中心 (COP) を測定することにより、テストの信頼性および妥当性を検討し、評価した。

- 1) COP 動揺の全 165 変数のうち 8 変数に開眼片足立ちと有意な相関関係が認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。すなわち、 $225^{\circ} \sim 270^{\circ}$ の範囲に分布する位置ベクトル回数 (OE)、 $315^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲に分布する速度ベクトル回数 (OE)、 $135^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の範囲に分布する位置ベクトル回数 (CE)、 $135^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の範囲に分布する位置ベクトル長 (CE)、 $315^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲に分布する位置ベクトル回数 (CE)、 $270^{\circ} \sim 315^{\circ}$ の範囲に分布する速度ベクトル平均 (CE)、前後径 (CE)、およびロンベルグ率 (外周面積) である。
- 2) 相関係数が最も大きかったのはロンベルグ率 (外周面積) であった ($r = 0.71$, $df = 15$, $p < 0.01$)。
- 3) 視覚依存度の低い者ほど開眼片足立ちの評価が高く、視覚依存度の高いものほど開眼片足立ちの評価が低い傾向が窺えた。
- 4) 開眼片足立ちは位置ベクトル回数の角度、視覚、足関節の構造から前後径 (EC) にも相関関係が認められるものと考えられた。
- 5) 速度ベクトル平均 (EC) は 4) の角度 (一方) とほぼ一致しており、身体が後方に倒れることを防止するためであると考えられた。
- 6) COP 変位は COM 変位に同調し (Winter D.A. et al., 1998)、本実験で使用した重心動揺計の有効性が支持

され、COPと開眼片足立ちに相関が認められたことからフィールドテストとして十分に信頼性および妥当性があることが示唆された。

VI. 謝辞

本研究を行うにあたり健康スイミングスクール受講生の皆様に御参加頂きました。また、本研究を御指導された佐藤佑先生、宮城進先生、竹村英和先生には多大なる御協力を頂きました。ここに深甚の謝意を表します。

VII. 文献

- 1) Bortolami S.B., DiZio P., Rabin E. & Lackner J.R. (2003) Analysis of human postural responses to recoverable falls., *Exp Brain Res.* 151(3):387-404
- 2) 江 依法, 長崎 幸雄, 松岡 敏男, 吉田 善伯, 木村 英紀 (2003) 自然立位姿勢時の身体動揺と重心動揺間の関係, *体力科学* 52 : 533-542
- 3) Era P., Sainio P., Koskinen S., Haavisto P., Vaara M. & Aromaa A. (2006) Postural balance in a random sample of 7,979 subjects aged 30 years and over., *Gerontology.* 52(4):204-13
- 4) Fujita T., Nakamura S., Ohue M., Fujii Y., Miyauchi A., Takagi Y. & Tsugeno H. (2005) Effect of age on body sway assessed by computerized posturography., *J Bone Miner Metab.* 23(2):152-6
- 5) Golomer E., Cremieux J., Dupui P., Isableu B. & Ohlmann T. (1999) Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers., *Neurosci Lett.* 267:189-192
- 6) Gori L. & Firenzuoli F. (2005) Posturology, Methodological problems and scientific evidence., *Recenti Prog Med.* 96(2):89-91
- 7) Guerraz M., Thilo K.V., Bronstein A.M. & Gresty M.A. (2001) Influence of action and expectation on visual control of posture., *Brain Res Cogn Brain Res.* 11(2): 259-66
- 8) 長谷 公隆 (2006) 立位姿勢の制御, *リハビリテーション医学* 43 : 542-553
- 9) 林 ちか子, 池田 瑞音, 相澤 勝治, 村井 文江, 目崎 登 (2004) 若年女性の月経周期に伴う動的・静的バランス能力の変化, *体力科学* 53 : 197-204
- 10) 廣畑 綾香, 宮城 進, 佐藤 佑 (2006) 水泳・水中運動が中高年者の体力に及ぼす影響, *仙台大学大学院スポーツ科学研究科修士論文集* 7 : 119-124
- 11) 朴澤 二郎 (1995) 身体平衡のメカニズムについて, *仙台大学紀要* 26 : 1-6
- 12) 今岡 薫, 村瀬 仁, 福原 美穂 (1997) 重心動揺検査における健常者データの集計, *Equilibrium Res Suppl* 12 : 1-84
- 13) 井上 辰樹, 高西 敏正, 村田 健三郎 (2002) 高齢者の体的因子とつまずき・スリップ・転倒経験の関係, *体力科学* 51 : 673
- 14) 井上 辰樹, 村田 健三郎 (2001) フィールドにおいて高齢者に用いられるバランス能力指標, *体力科学* 50 : 894
- 15) James Dornan, Geoff R. Fernie & Pamela J. Holliday (1978) Visual Input: Its Importance in the Control of Postural Sway., *Arch Phys Rehabil.* 59: 586-591
- 16) 木村 英紀 (2002) 生物制御システム研究チーム, *理研研究年報* : 552-557
- 17) 木村 みさか (2000) 高齢者のバランス能 (平衡性) を評価することの意義, *日本生理人類学会誌* 5(2) : 17-23
- 18) 北林 保, 出村 慎一, 野田 政弘, 今岡 薫 (2003) 静的立位姿勢における足圧中心動揺変数相互の関係の検討 - 領域別及び性差の観点から -, *Equilibrium Res* 62(1) : 34-42
- 19) 小林 康孝, 吉岡 利忠 (2002) 「新体力テスト」からみた高齢者の特徴, *体力科学* 51 : 670
- 20) Mark L. Latash. (1998) Neurophysiological Basis of Movement., *Human Kinetics:* 163-171
- 21) 御手洗 玄洋 (1990) ヒトの平衡機能, *理学療法* 7(3): 159-164
- 22) 文部省 (2000) 新体力テスト - 有意義な活用のために -
- 23) 永田 晟 (1996) 高齢者の調節機能 - 平衡能, *体力科学* 45 : 17-19
- 24) 中谷 敏昭, 灘本 雅一, 森井 博之 (2001) 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* 50 : 643-646
- 25) 日本平衡神経学会 (1983) 平衡機能検査の基準, *Equilibrium Res* 42(2) : 367-369
- 26) 小笠原 仁美, 新野 直明, 小坂井 留美, 道用 亘, 安藤 富士子, 下方 浩史 (2003) 地域中高年者における転倒の発生状況と関連要因, *体力科学* 52 : 768
- 27) 岡山 寧子, 木村 みさか, 糸井 亜弥, 奥野 直 (2004) 健康な高齢者における転倒と体力との関連, *体力科学* 53 : 786
- 28) 奥野 直, 糸井 亜弥, 森本 武利, 岡山 寧子, 木村 みさか (2003) 高齢者のバランス調整能の評価 (ファンクショナルリーチテストの課題), *体力科学* 52 : 961

- 29) 奥野 直、糸井 亜弥、森本 武利、岡山 寧子、木村 みさか (2001) 高齢者の動的バランス能について (ファンクショナル・リーチテストの検討)、*体力科学* 50 : 891
- 30) 奥野 直、森本 武利、木村 みさか、岡山 寧子 (1995) 閉眼片足立ちと開眼片足立ちによる高齢者の平衡機能、*体力科学* 44 : 838
- 31) 奥野 直、木村 みさか、岡山 寧子、森本 武利 (1997) 重心動揺による高齢者の平衡機能、*体力科学* 46 : 690
- 32) 大築 立志 (2003) バランスを司る神経支配、*体育の科学* 53(4) : 236-240
- 33) Shu Morioka, Manabu Okita, Yu Takata, Shozo Miyamoto & Hideyuki Itaba (2000) Effects of Changes of Foot Position on Romberg's Quotient of Postural Sway and Leg Muscles Electromyographic Activities in Standing., *J Jpn Phys Ther Assoc.* 3: 17-20
- 34) Shumway-Cook A. & Woollacott M.H. (2001) *Motor control theory and practical applications.*, 2nd ed., Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore: 163-191
- 35) 鈴木 宏哉、大塚 慶輔、松島 泰子、中野 貴博、高橋 信二、山田 庸、松田 光生、久野 譜也、西嶋 尚彦 (2003) 高齢者のファンクショナルリーチテスト: SATプロジェクト127、*体力科学* 52: 765
- 36) Tamotsu Kitabayashi, Shinichi Demura, Masahiro Noda & Takayoshi Yamada (2004) Gender Differences in Body-Sway Factors of Center of Foot Pressure in a Static Upright Posture and under the Influence of Alcohol Intake., *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 23: 111-118
- 37) Tamotsu Kitabayashi, Shinichi Demura & Masahiro Noda (2003) Examination of the Factor Structure of Center of Foot Pressure Movement and Cross-validity., *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 22: 265-272
- 38) 戸川 達男 (1986) 生体計測とセンサ、*コロナ社*: 252-260
- 39) 時田 喬、大川 剛 (1995) 検査法とその臨床的意義 重心動揺検査、*JOHNS* 11(6) : 809-816
- 40) 時田 喬 (1995) 重心動揺検査 - 病巣診断を目標として -、*Equilibrium Res* 54(2) : 172-178
- 41) 辻 伸太郎、川本 美有紀、宮本 賢作、田中 聡、小松原 悟史、河西 純、秋山 知之、森論史、乗松 尋道 (2002) 高齢者に対する振動版を用いた体カトレーニングの試み、*体力科学* 51 : 788
- 42) 梅田 典子、重松 良祐、坂井 智明、田中 喜代次 (2002) 高齢者の転倒不安感に関する体力、*体力科学* 51 : 807
- 43) Van-Parys J.A.P. & Njioki-Ktjien C. (1976) Romberg's sign expressed in a quotient. *Agresslogie.* 17B: 95-100
- 44) 分木 ひとみ (2004) 高齢者の転倒不安とその要因、*体力科学* 53 : 769
- 45) 渡辺 行雄 (2001) 体平衡機能の生理と病態、*体力科学* 50 : 24-26
- 46) Winter D.A., Patla A.E., Prince F., Ishac M. & Giolo-Perczak K. (1998) Stiffness Control of Balance in Quiet Standing., *J Neurophysiol.* 80: 1211-1221
- 47) Wolfson L., Whipple R., Derby C.A., Amerman P. & Nashner L. (1994) Gender differences in the balance of healthy elderly as demonstrated by dynamic posturography., *J Gerontol.* 49(4):M160-7
- 48) 山次 俊介、出村 慎一、野田 政弘、長澤 吉則、中田 征克、北林 保 (2001) 足圧中心動揺による評価変数の日間信頼性の検討、*Equilibrium Res* 60(4) : 217-226