

身体平衡のメカニズムについて*

朴 澤 二 郎**

I. はじめに

地球上で二足歩行を行って居るヒトは、重力の支配下に適合した骨格・構造を有し日常生活の中でも殆ど無意識のうちに極く自然に目的に適った動作をして居る。静止時はもとより、連続した動作の中でも常に円滑な運動が出来るのは身体の平衡を維持する機能が備わって居るからである。

身体の平衡は視覚系、前庭系及び深部感覚系の働きと三者相互の調整役である大脳、小脳及び脳幹網様体によって支えられて居るが、此等の系の働きによってヒトは重力を把え、空間に於ける自己の位置と運動・姿勢を認識する事が出来る。

此等の生理学的機構が個々の人々の日常生活に、どのように関わり且つ発揮されて居るか？を知る事は単に医学のみならず、人間工学、体育、社会教育など各方面で重要であり、ヒトが地球上でより豊かな生活及び身体活動を行う為にも夫々の立場で深く認識し活用して行く事が望ましいと思われる。

実際に、平衡機能の状態を診る方法として昔から眼球の平衡検査と体の平衡検査とが行われて居るが、前者の方法は精度が高く、めまい・平衡障害の病巣診断や治療など、特定の限られた目的に使用されて居る。

これに対して、後者の方法は総括的に体のふらつき状態を調べる手段として適用範囲も広く、医学的应用の他、多方面に使用されて居る。

最近ではコンピューターを内蔵した重心動揺計も開発され、ふらつきを定量解析出来るようになった。

今回、「平成6年度教育研究の充実向上を図る備品費」によって重心動揺計を購入し視覚系、深部感覚系及び前庭系の平衡機能に果たす役割を量的に解析したので報告する。

II. 方 法

図1に示す様な方法で、日本電気三栄製・平衡機能計（1G06）の検出盤上に筆者自身が起立し、検査助手が重心動揺軌跡を60秒間記録した。検査は日本平衡神経科学会の定める基準（朴沢¹⁾）に従い、次の様な条件で行った。

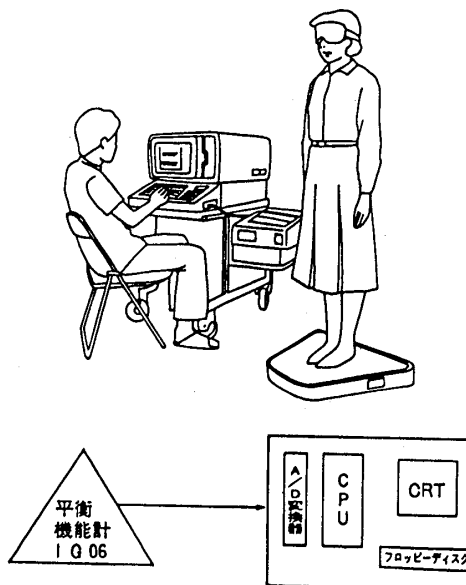


図1 重心動揺検査 (朴沢¹⁾)

* 本研究は仙台大学「平成6年度教育研究の向上を図る備品費」によってなされたものである
 ** 仙台大学体育学部健康体力系教授

1) 検査室

静かな明るさが均等な部屋で、音、光など外部から検査に影響する因子が介入しないよう配慮した。

2) 検出盤上の被検者の直立位置

被検者の足底の中心が検出盤上の基準点と一致するよう起立させ、裸足で検査した。尚、深部感覚の介入を遮断制限して検査を行う場合は検出盤と同じ形・大きさの厚さ30cmのスポンジ盤を検出盤上に置き、その上に起立させた。

3) 足 位

両脚起立の場合両足先を合わせた Romberg 位を基準とした。又、単脚起立検査の場合は左足を軽く挙げ、右足で起立させて検査を行った。

4) 直立姿勢

両上肢を体側に軽く接し、ゆったりとした自然の状態の直立姿勢で検査を行った。

5) 視 点

前方正面の壁の眼の高さに見やすい指標を設定し、これを注視させて検査を行った。尚、視覚の介入を遮断して検査を行う場合はアイマスクをかけて遮眼した。

6) 記録の開始および記録時間

重心動揺が或程度安定してから記録を開始し、60秒間記録を行った。尚、動揺軌跡は x y 記録で、前後の揺れを y 軸上、前方の揺れが上方に、又、左右の揺れは x 軸上、右方の揺れが右方に記録される様設定した

7) 重心動揺軌跡の解析

PC 9801 及び NEC プログラム “平衡機能計測 (No.9801)” を用いて、動揺面積、軌跡長および動揺速度を解析し、結果をキャノンインクジェットプリンターで記録した。

Ⅲ. 成 績

1. TEST (1)

裸足、Romberg 位で直立し、正面壁の指標を注視させた状態の重心動揺を記録解析した。これは視覚、深部感覚および前庭系の三者が正常

に機能している時の基本的な平衡維持状態であるが、図 2 に示す様に動揺の形は時田²⁾の分類による求心型(正常型)を示し、動揺面積(3.94cm²)は若年者を対象とした正常値(2.36+1.20cm²)の上限を僅かに超えて居るが、前後左右の軌跡長は平衡異常例より短く、又、動揺巾も図 3 のヒストグラムが示す様に、略々一様で、最長動揺径も短かった。

尚、実測値は TEST 1 から TEST 5 までを表 1 に一括表示した。

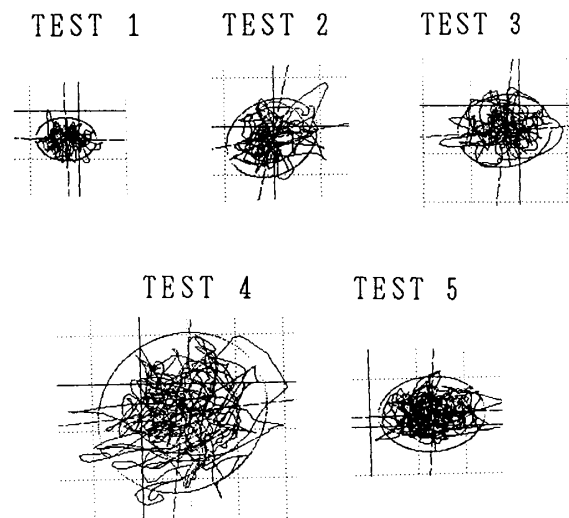


図 2 重心動揺軌跡面積

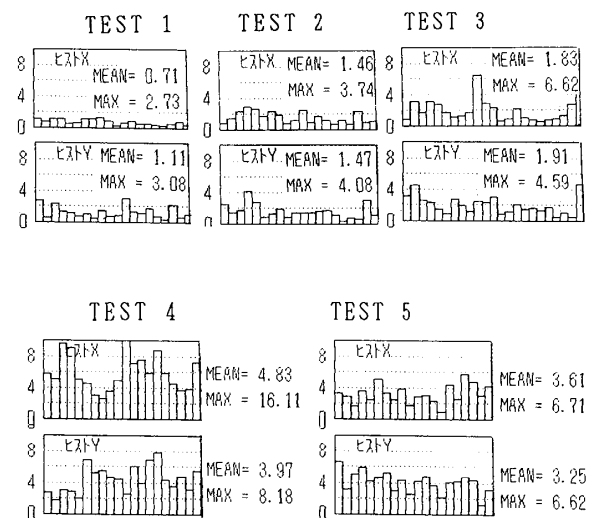


図 3 重心動揺径ヒストグラム

2. TEST (2)

アイマスクで、遮眼し、視覚の介入を除外した以外はTEST 1と同じ検査条件で重心動揺を記録解析した。この場合は前庭系および深部感覚系のみが機能して居る時の身体の平衡維持状態を示して居るが、動揺の型はTEST 1と同様に求心型。しかし、動揺面積(13.11cm²)はTEST 1よりも拡大し、揺れ巾も均一性を欠いて居た。

3. TEST (3)

重心動揺計の検出盤の上に厚さ30cmのスポンジ盤を置き、その上に Romberg 位で直立し、指標を注視させた状態の重心動揺を記録解析した。これは足の裏に加わった圧感や平衡感など深部感覚系の介入をスポンジによって制限し、主として視覚および前庭系のみが機能している時の平衡維持状態であるが、動揺の型はTEST 1及びTEST 2と同様に求心型で、動揺の面積(15.97cm²)はTEST 2と略々同程度であった。しかし、軌跡長はTEST 2より長く、中に動揺巾の大きい揺れが混在して居た。

4. TEST (4)

TEST 3の検査条件に加えて、被検者を遮眼した状態の重心動揺を記録解析した。この場合は視覚系および深部感覚系の援助なく前庭系が単独で身体の平衡を支えて居る状態であるが、動揺の型はやや拡散型に近く前後左右に大きく揺れ、面積(50.58cm²)は著しく拡大した。最大動揺巾も前後径で8.13cm、前後径で16.11cmに達し、左右よりも前後にやや大きく揺れる傾向があった。動揺の速度もTEST 1、TEST 2、TEST 3に比べて有意に増大した。

5. TEST (5)

TEST 1の検査条件を両脚起立の代わりに、単脚で起立させた状態の重心動揺を記録解析した。この場合は視覚、深部感覚および前庭系は正常に機能して居るが、単脚で体を支えると

う困難がある。

動揺の型は左右型に近く、軌跡長も前後径(206.3cm)よりも左右径(230.69cm)が延長し左右への大きな揺れを示した。又、動揺面積(14.52cm²)も両脚で起立した場合(TEST 1)に比べて有意に拡大し、TEST 2やTEST 3の場合と略々同程度の広がりを示した。

表1 重心動揺検査成績 (単位: cm)

	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	
動揺面積	3.94	13.11	15.97	50.58	14.52	
軌跡長	前後	69.82	92.26	120.56	250.29	206.3
	最大巾	3.08	4.08	4.59	8.18	6.62
	左右	44.68	92.48	115.75	303.64	230.69
	最大巾	2.73	3.74	6.62	16.11	6.71
速度	前	1.08	1.41	1.8	3.55	2.5
	後	0.98	1.46	1.84	3.4	2.39
	左	0.69	1.41	1.66	3.9	2.83
	右	0.62	1.48	1.82	3.64	2.1
	最大	5.18	9.3	12.07	23.83	12.4

註] TEST1: 視覚系+自己受容系+前庭系の関与
 TEST2: 自己受容系+前庭系の関与
 TEST3: 視覚系+前庭系の関与
 TEST4: 前庭系の関与
 TEST5: 単脚起立 (条件はTEST1に同じ)

IV. 考 察

1. 視覚と平衡機能との関わりについて

視覚が直立姿勢維持に重要な関わりを持つ事は、Edwards³⁾、Wapnr⁴⁾をはじめ多くの研究者によって報告されて居る。特に一点を注視する事が自己の位置づけ及び身体の平衡維持に必要であり、そのため注視条件の違いが重心動揺にどのような影響を及ぼすか?を具体的に検討した報告も Amblard⁵⁾及び Kapteyn⁶⁾らによってなされて居る。一方、Gonshor⁷⁾及び Melvill Jones⁷⁾らは左右逆転プリズムを装着した場合の視覚錯乱の状態が歩行及び直立動揺に影響する事から逆説的に直立維持に於ける視覚情報の役割の重要性を述べて居る。今回、筆者のTEST 2にお

ける解析結果に於いても視覚系の役割が量的に証明された。

静的のみならず身体の動的平衡維持に有効な指標注視条件を見出す事はフィギュア、体操をはじめ種々のスポーツ競技の向上に大きく貢献する問題と思われる。

2. 深部感覚と平衡機能との関わりについて

宇宙飛行から地球に帰還した向井さんが、先ず最初に感じたのは重力の存在であると言う。冒頭に述べた様に、ヒトは地球上で二足歩行をするために適した骨格体型を持ち、重力を利用して、自己の空間に於ける位置、姿勢を認識し且つ円滑な動作を行って居る。これに関与するのが深部感覚系と前庭系である。

深部感覚は、身体のおかれた状態を知る為のもので、筋肉や腱、関節囊周囲組織の感覚、足の裏に加わった圧感や平衡覚など体の各部分の位置の認識やそれらの部分の速さを判断する事に役立って居る。

直立時の足裏の感覚は裸足ほど敏感で、水中よりも直接地上に接して居る方が確実である。地球上で深部感覚の介入を完全に遮断する事は難しく、これに関する研究は視性制御の研究ほど多くは無い。

今回、筆者のTEST 3に於ける重心動揺の解析はスポンジ盤に起立させる事によって、深部感覚系の介入を制限したが、それでも深部感覚が正常に機能した場合の約4倍に動揺面積が拡大し、動揺巾も増大した。

3. 前庭系と平衡機能との関わりについて

前庭系の中の末梢受容器は内耳の中の前庭迷路と呼ばれる部分で、耳石器と三半器官から成り立って居る。これが重力方向の変化や加速度を感受し、前庭性インパルスの中樞へ送って反射的に体の筋緊張を調整して居る。この反射機構を、一般に迷路性筋緊張と言ひ、暗闇の中でも空間に於ける自己の位置や姿勢を認識し、無意識の中に体の平衡を維持し乍ら動作を円滑に

導く役割を果たして居る。前庭系と平衡機能との関わりの中で特に注目される迷路性筋緊張は「立ち直り反射」と「偏倚」と呼ばれる二つの現象である。直立して居るヒトを乗せた台を傾けて行くと、人体に傾斜と反対の方向に戻ろうとする反射が起こる。これが立ち直り反射であり、前庭迷路の機能が失われれば、この反射も消失する事から前庭系由来の反射である事が分かる。

又、体の平衡は左右の前庭迷路が丁度天秤のように均衡を保って居る場合にはじめて正常に維持されるが、左右前庭系の均衡が崩れた場合に偏倚という現象が現われる。例えば力関係で、右の前庭系が左より優って居れば、歩行は右へ片寄り、逆に劣って居れば左へ片寄り。このように真っ直ぐ歩けず、どちらかに片寄る事を偏倚と呼んで居る。左右前後系の不均衡に起因した平衡機能の異常は、この立ち直り反射の障害や偏倚の出現によって知る事が出来、視覚系や深部感覚系の介入を制限した際の重心動揺に明瞭に現われる。今回の筆者のTEST 4に於ける重心動揺の解析で左右の揺れよりも前後の揺れが認められたのは左右前庭系の不均衡が無く、従って、偏倚が出現しなかった為と思われる。

病的例の重心動揺では患側の前庭系が興奮した場合に拡散型の動揺軌跡を画き、あたかも勢いを失った時のコマの動きに似た状態を示し、逆に、患側の前庭系の機能が低下した場合は左右動揺型の軌跡を画き、丁度弥次郎兵衛の動きに似た状態を示す事が筆者らの研究で明らかになって居る。

4. 平衡機能に於ける視覚・深部感覚・前庭系の相互関係について

TEST 2およびTEST 3に見られる様な、視覚又は深部感覚の一つの系を除外した場合の身体動揺に比べて、TEST 4に見られる様に二つの系の介入を同時に制限した場合の方が明らかに大きな動揺を示して居る。これは各系が別個に機能して身体の平衡を維持して居るのでは無

く、相互に協調し会って機能効果を高めて居る証拠と言えよう。

その意味では三つの系の調整役である大脳小脳および脳幹網様体の存在も見逃す事は出来ない。例えば、周囲がぐるぐる回転して居ると想像させた丈で、平衡反射に影響すると言う報告(Baloh)⁹⁾は網様体の意義を示すものとして注目され、スポーツ競技に於けるイメージトレーニングにも関わる問題である。又、学童の平衡機能の低下や高齢化社会に在って加齢の平衡機能に及ぼす影響が問題視されて居る中で、平衡訓練やリハビリテーションも、こうした三つの系の相互協調作用を重視し乍ら、合理的に行われるべき事と思われる。

5. 直立姿勢と平衡機能との関わりについて

二足歩行のヒトが単脚よりも両足で起立する方が遙かに安定して居る事は申す迄もない。TEST 5ではそれを量的に表わして居る。単脚起立の場合は前後よりも左右の揺れが増大するのが特徴である。最も安定した直立姿勢は柔道に於けるこれから試合を始めようとする際の姿勢やゴルフのアドレスの姿勢に見られる様に、両足を開き且つ顎を軽く引いた状態である。体の平衡が維持され、頭を軽く前傾する事によって、全身の迷路性筋緊張が緩和され何時でも次の動作がスムーズに開始出来る様な準備体制である。この開脚姿勢から Romberg 姿勢、単脚そして爪先立ち姿勢へと移行するに従って身体動揺は増大し、逆に平衡を維持出来なくなって、転倒する。その様相を図4に示した。







検査姿勢			
動揺図			
動揺面積	1.4 cm ²	2.3 cm ²	8.4 cm ²

図4 起立姿勢と重心動揺との関係

V. 結 び

身体の平衡維持に關与する視覚、深部感覚および前庭系の存在意義をヒトが直立した際の重心動揺軌跡を種々解析する事によって検討した。

その結果、これら三つの系が別個に機能して居ると言うよりも、相互に協調し乍ら、有効に体の平衡に寄与して居る事が量的に証明された。

文 献

- 1) 朴沢二郎：
重心動揺検査法の実際
めまい診療と迷路病態（医学書院）
11-15頁，1985年
- 2) 時田 喬：
重心動揺検査
耳鼻咽喉科検査法マニュアル（南江堂）
78-80頁，1992年
- 3) Edwards, AS. :
Body sway and vision. J. Exper Psychol 36,
526-537, 1946
- 4) Wapner, S. :
The role of visual factors in maintenance of
body balance. Am J. Psychol 63, 385-408,
1950
- 5) Amblard, B. :
Role de l'information visuelle du mouvement
dans le maintien de l'equilibre postural chez
l'home Agressologie 17, 25-36, 1976
- 6) Kapteyn, TS. :
Visual Stabilization of Posture ; Effect of light
intensity and stroboscopic surround illimination.
Agressologie 20, 191-192, 1979
- 7) Gonshor, A. and Melvill Jones, G. :
Extreme vestibuloocular adaptation induced by
prolonnged optical reversal of vision. J.
Physiol. 256, 381-414, 1976

- 8) Hozawa, J. and ohota, S. : Otorhynolaryngology, 42, 135-138, 1988
Consideration on vestibular physiopathology with special refference to comparison of irritative state and paralytic state. Adv.
- 9) Baloh. RW. : Voluntary control of the human vetibuloocular reflex. Acta Otolaryngol. 97, 1-6, 1984

Equilibrium Mechanism of Human Body

Jiro HOZAWA, M.D.

from
the Faculty of Physical Education
Sendai College, Sendai, Japan

The role of optic system, proprioceptive system and vestibular system in the maintenance of body balance were investigated by the stabilometer (NEC-SANEI, 1G06).

The subject was requested to stand on the stabilometer with Romberg's posture and tested under the following five conditions:

Test 1 was performed with eyes open.

Test 2 was performed with eyes blindfolded to interrupt the visual information.

Test 3 was performed to interrupt the proprioceptive sensation by standing on a thick sponge platform.

Test 4 was performed with eyes blindfolded under the same condition as Test 3.

Test 5 was performed to stand on one leg under the same condition as Test 1.

The sway of the body's center of gravity was recorded for 60 seconds with X-Y recorder and processed by a personal computer program designed for stabilometry.

The body sway observed in Test 2 and 3 were larger than Test 1, and Test 4 showed the most remarkable sway.

From the results, it was proved quantitatively that the role of optic and proprioceptive control was useful for the body balance and not only the vestibular function but also the co-operation of the two system was especially necessary for the equilibrium of body.