

原 著

平衡反応の定量的検査の試み*

浅 井 仁** 河 村 光 俊**
 奈 良 勲** 立 野 勝 彦**

要旨

動的な状態での平衡反応の定量的評価を、加速度計を用いて行った。対象は37名の学生であった。結果は以下の通りである。

- 1) 開眼時と閉眼時の比較では試行1回目において有意差が認められたが、6回目以降は両者ともほぼ同様の値を示した。
- 2) 開眼群と上肢固定群間において、前後方向、上下方向で有意差が認められた。
- 3) 上肢固定群と頸部固定群間で、前後方向、上下方向、左右方向において有意差が認められた。
- 4) 潜時は各群を通して 70 ms~90 ms であった。

キーワード 平衡反応, 定量化, 外乱刺激

はじめに

平衡反応について、高松¹⁾は加速度が動物の体に加わった場合にすばやい反応として出現する一連の運動反応であると述べている。また山本²⁾は平衡能のとらえかたとして、A) 外乱刺激を与えないで自発的な立ち直り反応をみる方法、B) 外乱刺激を与えて立ち直り反応をみる方法、C) その他の検査方法を挙げている。日常の臨床場面における平衡反応の評価についても重心動揺計等を用いる場合においては静的な状態での評価が殆どであり、検者が被検者に対して外乱刺激を与えて平衡機能の評価を行う場合、その判定においては検者による主観的評価の度合が高かった。そこで、今回我々は動的でしかも客観的な方法として、健常人に対し直線加速度を加え平衡反応を誘発し、加速度計を用いてその定量的な評価を試みたので報告する。

I 方 法

実験装置は、動力源に 5 kg の重りの落下を利用した台車を製作し、この台車上で被検者に 20 cm 開脚位で立位をとらせた。そして、重りの落下により台車を前方に移動させこれを停止させるときの加速度を刺激加速度とした(図1)。台車は停止する際、反動することなく完全に停止するように設計された。また測定条件として、一定の加速度を加えるため台車に重りを負荷し被検者の体

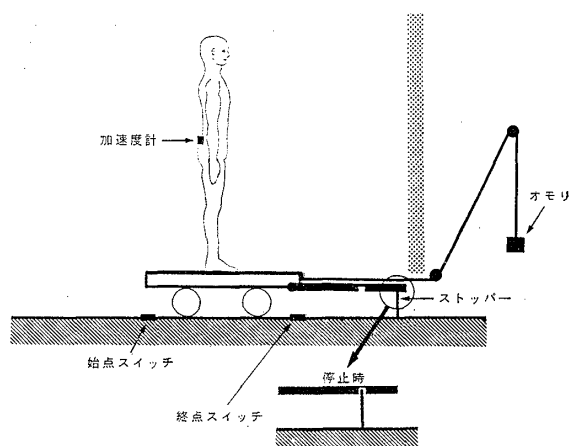


図1 実験装置図

停止時はストッパーとアームが咬み合い台車は完全に停止する。

* An Attempt to Quantitative Assess Equilibrium Reactions.

** 金沢大学医療技術短期大学部理学療法士
 Asai Hitoshi, RPT, Kawamura Mitsutoshi, RPT, Nara
 Isao, RPT: School of Allied Medical Professions,
 Kanazawa University.

*** 同 医師
 Tachino Katsuhiko, MD.
 (受付日 昭和61年8月22日)

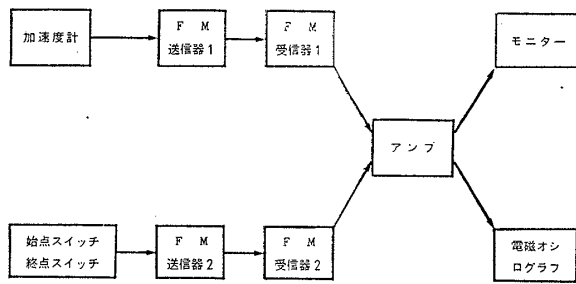


図2 計測機器配線図(模式図)

重との合計が80kgになるように調整し、測定時に動力源の重りの落下が被検者の視界に入らないよう考慮した。加速度計(Toyoda製ATS-14S)は被検者のヤコピー線を通る椎骨上に前後方向、上下方向、左右方向の3方向について取付けた。得られたデータはテレメーター(日本電気三栄製医用テレメーター271)を用い、アンプ(日本電気三栄製Type1205D)を介し電磁オシログラフ(日本電気三栄製Visigraph-5L)にて記録用紙のスピードを10cm/secと設定して記録した。台車の運動開始から停止までの時間的経過を明確にするため、運動開始点と停止点にシグナルスイッチを取付け加速度計波形と同様にテレメーターを用い電磁オシログラフにて記録した(図2, 3)。

II 対象

対象は18歳から33歳の本学学生で平均年齢20.9±2.9歳の男子18名、女子19名の合計37名、平均身長は男子172.1±5.9cm、女子158.6±4.6cm、平均体重は男子64.9±6.9kg、女子54.1±5.3kgであった。被検者は無作為に、開眼立位群8名、閉眼立位群6名、両上肢を体測にベルトで固定した開眼上肢固定群(以下、上固群と略す)8名、頸部をポリネックカラーで固定した開眼頸部固定群(以下、頸固群と略す)8名、開眼での上肢固定と頸部固定を同時に行った開眼上肢・頸部固定群(以下、上頸固群と略す)7名の5つの群に分けた。そ

表1 開眼立位群と閉眼立位群の比較

単位: G=9.8 m/s²

| 試行1回目 | 前後方向 | 上下方向 | 左右方向 |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| 開眼立位群 | 0.26±0.06 | 0.27±0.10 | 0.12±0.05** |
| 閉眼立位群 | 0.64±0.14** | 0.64±0.15** | 0.38±0.12 |

両群間において3方向ともに危険率1%で有意差が認められた。
** p<0.01

して、開眼立位群、閉眼立位群は10回、上固群、頸固群、上頸固群の3群は5回の測定を行い刺激後の最大振幅をデータとした。

III 結果

代表的波形を図3に示す。Aは台車の運動開始を示し、Bは台車の停止を示す。加速度計の波形は上から前後、上下、左右の各方向のものである。尚、加速度の単位はG=9.8 m/s²とした。

1. 開眼立位群と閉眼立位群の比較

試行1回目の平均値では前後方向の開眼立位群:0.26G、同じく閉眼立位群:0.64G、上下方向の開眼立位群:0.27G、同じく閉眼立位群:0.64G、左右方向の開眼立位群:0.12G、同じく閉眼立位群:0.38Gで3方向ともに危険率1%で両群間に有意差が認められた(表1)。また、各試行における前後方向の平均値の推移について見てみると、開眼立位群においては試行1回目から試行3回目にかけて軽度の減少を示しているが、試行1回目から10回目を通して大きな変動は認められず、試行間の有意差も認められなかった。上下方向、左右方向についても同様の傾向が認められた。これに対し閉眼立位群では試行1回目から試行5回目にかけて3方向とも著名な減少を認め、標準偏差も開眼立位群に比べ大きな値を示した。しかし、6回目以降は平均値の大きな変動はなく、標準偏差も開眼立位群とほぼ同様な傾向が認められた(図4, 5)。

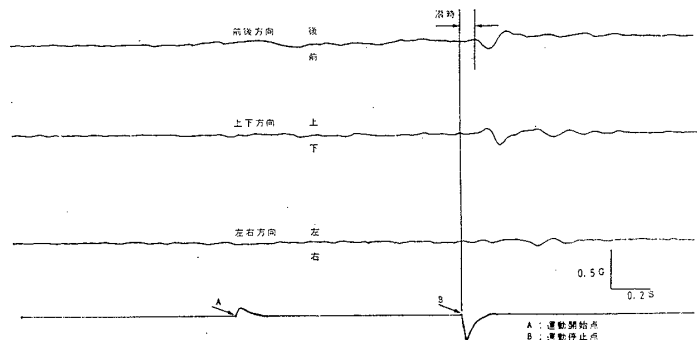


図3 加速度計波形

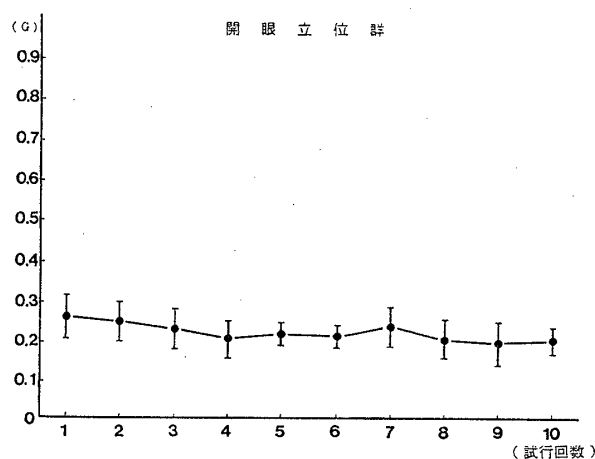


図4 開眼立位群前後方向最大振幅の推移

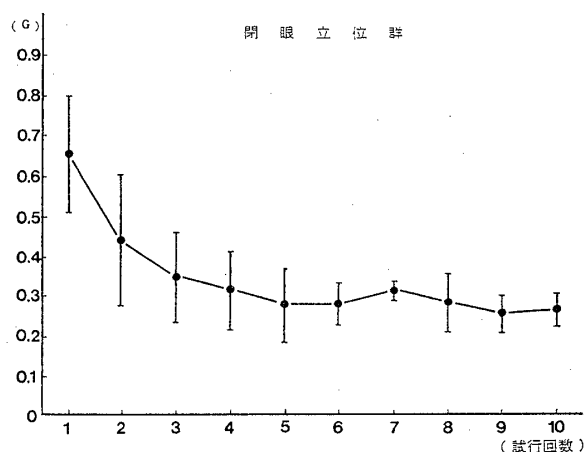


図5 閉眼立位群前後方向最大振幅の推移

表2 開眼立位群と各固定群間の比較
単位: $G=9.8 \text{ m/s}^2$

| 平均値 | 前後方向 | 上下方向 | 左右方向 |
|-------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 開眼立位群 | 0.23 ± 0.03 | 0.22 ± 0.05 | 0.08 ± 0.03 |
| 上固群 | $0.18 \pm 0.03^*$ | $0.16 \pm 0.03^*$ | 0.06 ± 0.01 |
| 頸固群 | $0.22 \pm 0.01^*$ | $0.21 \pm 0.04^*$ | $0.10 \pm 0.02^{**}$ |
| 上頸固群 | 0.21 ± 0.04 | 0.21 ± 0.07 | 0.08 ± 0.01 |

開眼立位群と上固群間では前後方向及び上下方向において危険率5%で有意差が認められた。

上固群と頸固群間では前後方向及び上下方向において危険率5%で、左右方向においては危険率1%でそれぞれ有意差が認められた。

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

2. 開眼立位群と各固定群との比較

開眼立位群の試行1回目から試行5回目の平均値と各固定群の試行5回の平均値の差について検討した。開眼立位群は前後方向: 0.23 G , 上下方向: 0.22 G , 左右方向: 0.08 G であり上固群は前後方向: 0.18 上下方向: 0.16 G , 左右方向: 0.06 G で前後方向と上下方向にお

いて開眼立位群と上固群間に危険率5%で有意差が認められた。しかし、開眼立位群と頸固群間及び開眼立位群と上頸固群間においては3方向ともに有意差は認められなかった(表2)。

3. 各固定群間の比較

各固定群間におけるそれぞれの方向の平均値の差について検討した。上固群と頸固群間について、上固群は前述した値である。頸固群は前後方向: 0.22 G , 上下方向: 0.21 G , 左右方向: 0.10 G であり、前後方向及び上下方向において危険率5%で、左右方向においては危険率1%でそれぞれ両者間に有意差が認められた。この他、上固群と上頸固群、頸固群と上頸固群間の間においては3方向ともに有意な差は認められなかった(表2)。

4. 台車停止時より前後方向加速度の出現までの時間(潜時)

台車停止時より前後方向加速度の出現までの時間(潜時)について検討を行った(図3)。その結果、試行1回目の平均値は開眼群: $71.4 \pm 20.3 \text{ ms}$, 閉眼群: $88.5 \pm 23.5 \text{ ms}$, 上固群: $81.6 \pm 6.8 \text{ ms}$, 頸固群: $78.5 \pm 12.4 \text{ ms}$, 上頸固群: $78.0 \pm 4.0 \text{ ms}$ であった。開眼群と閉眼群とを比較すると、閉眼群の潜時が長くなる傾向があるが有意差は認められなかった。このほか各群間においても有意差は認められなかった。また、同一群内の試行間においても有意差は認められなかった。

IV 考 察

平衡機能は、前庭迷路系、体性感覚系、視覚系により受容され、中枢神経系を介して身体各部の筋の協調運動として表現される非常に複雑な反射機能の総合である³⁾。開眼立位群と閉眼立位群の比較において試行1回目に両者間において各方向とも危険率1%で有意に閉眼立位群の振幅値が大であるという結果を得た。齊藤⁴⁾の報告にもあるように視覚入力に姿勢制御に大きな影響を与えており、視覚入力を遮断することによりヒトの特性がモデルの特性に似てきたことになることより、視覚入力に遮断された閉眼立位群は十分な姿勢制御が行えず、その結果として開眼立位群と比較して有意に大きな体幹動揺を来したものと考える。また、米田⁵⁾は視覚が重心動揺に及ぼす影響として、動揺の前後方向の成分に、より強い影響を及ぼすと報告しているが、今回の結果では前後方向と上下方向においてより強い影響が出ていた。さらに、石川^{6),7)}は両足立ち時の重心動揺面積における開眼時と閉眼時の比較について、閉眼時の面積が有意に増加し、視覚入力の遮断は平衡機能に約20%の影響を与えると報告している。しかし、今回の結果では3方向ともに閉眼

時の振幅は、平均で開眼時の2倍以上となった。これは、石川⁶⁾の報告が両足立位時の重心動揺測定という静的な状態による研究であるのに対して、我々が行ったのは動的な状態での研究であるため、視覚入力遮断の影響がより大きく関与したものと考えられる。閉眼群の試行2回目以降は、前庭迷路系からの信号がフィードフォワード的に働き、体性感覚系からの信号がフィードバック的に働き⁴⁾刺激量を学習するため、試行1回目から試行5回目までの間に最大振幅値が減少し、試行6回目以降は主として前庭迷路系と体性感覚系により開眼立位時の状態に近づいていくものと考えられる。また、視覚障害者の平衡機能については、中田⁶⁾は直立時の重心動揺の周波数解析を行い、正眼者と視覚障害者のトータルパワーの比較を行った。それによると、全盲者のトータルパワーは開眼時の正眼者の値と比較すると、左右の動揺で約3.2倍、前後では約3.5倍であり、弱視者では左右で約3倍、前後で約2.5倍であり、視覚障害者はかなり大きい重心動揺を示していることを報告している。以上のことより、視覚入力は諸家の報告にあるように平衡機能に対し極めて重要な情報源であり、視覚障害者のように視覚入力が不充分である場合は重心動揺が正眼者より大きい、視覚入力を遮断しても同じ刺激が繰り返し加えられるのであれば、主として前庭迷路系及び体性感覚系により刺激量を学習し次第に開眼状態に近づいていくものと考えられる。

上固群より開眼群の最大振幅値が有意に高かった理由について、仮説では上肢の機能として、静的な状態での立ち直り反応（閉眼時の片足立ちなど）においては上肢を外転することにより頭部、体幹を重力線に一致させ¹⁾、動的な平衡反応では保護伸展反応として出現するため、上肢を体幹に固定することにより、体幹の動揺が増加するのではないかと考えた。しかし、上肢を体幹に固定することにより腰部を含む体幹の動きを防ぐ結果となったと考えられ、これにより開眼群より体幹の動揺が小さくなったものと推察できる。そして、上肢を固定しない場合は刺激が加わった後、上肢の運動が体幹の動揺を促し、結果的に加速度の最大振幅が増加したものと考えられる。

上固群と頸固群の間において頸固群の最大振幅値が有意に高い値を示したが、この理由について以下の2点が考えられる。まず1番目として、頸部を固定することにより、体幹から頭部にかけて一体化し分節的な動きが制限され、加速度による衝撃を吸収する箇所が減少したためであり、2番目として頸部の固定により頭部の中間位保持が不可能となり、効果的な平衡反応が出現しなかったためと考えられる。この点に関して奈良⁹⁾は下肢関節

固定によって行った研究で、下肢関節固定時の重心動揺距離では膝・足関節固定時において、固定時と非固定時の間において有意に固定時の重心動揺距離が増加したと報告しており、関節固定時の平衡反応の出現が非効率的であることを示唆していると考えられる。

上頸固群は上固群と同様、上肢を体幹に固定したためほかの群との間に有意な差がなかったものと考えられる。

潜時について、今回の研究では各群を通して70ms～90ms前後であり有意差は認められなかった。渡部¹⁰⁾は台上に直立姿勢を保持している正常人を急激に前方または後方に台を移動させた時の身体各部分からの筋活動潜時は約70ms～90msであると報告しており、今回の成績と一致している。

今回、加速度計による平衡反応の定量化を試みたが、今後は刺激方法、刺激量などを再検討し臨床の場面に応用したいと考える。

V ま と め

動的な状態での平衡反応を加速度計を用い定量的な評価を試み以下の結果を得た。

1. 開眼時と閉眼時の比較では、試行1回目において両者間に危険率1%で有意差を認めたが、試行2回目から5回目にかけてその差が減少し、6回目以降は両者ともにほぼ同様の値を示した。

2. 開眼時と各固定群との比較では、開眼群と上固群間で前後方向、上下方向において危険率5%で有意差が認められた。

3. 各固定群間の比較では、上固群と頸固群間で前後方向、上下方向においては危険率5%で、左右方向においては危険率1%でそれぞれ有意差が認められた。

4. 潜時は、各群を通して70ms～90msであった。（当論文の要旨は第21回日本理学療法士学会にて発表された。）

参 考 文 献

- 1) 高松鶴吉：小児の運動発達，理・作療法，19(9)：615～618，1985。
- 2) 山本高司：運動と平衡機能，体育の科学，27：283～288，1977。
- 3) 坂口 明，角田興一：重心移動量による平衡機能の評価——多数例の検討——，体力科学，26：64～69，1977。
- 4) 斉藤 進，山辺紘猷，村瀬研一，塚原 進：ヒトの姿勢制御の機構について，第2回姿勢シンポジウム論文集，225～233，1977。
- 5) 米田 敏，徳増厚二：正常人の直立時重心動揺の周波数分析，Equilibrium Res.，41(1)：55～60，1982。
- 6) 石川 哲，山崎篤巳，小沢治夫，白井永男，他：眼科疾患とめまい——神経眼科的立場から，特に最近の研究を中心と

- して—, Guide to Literature on Individual's Center of Gravity, 2: 10~18, 1977. (アニメ)
- 7) 石川 哲, 小沢治夫, 臼井永男: 正常者並びに運動失調者における身体の平衡に関する視覚系の影響, 最新医学, 31(2): 254~263, 1976.
 - 8) 中田英雄: 重心動揺からみた視覚障害者の直立姿勢保持能力, 姿勢研究, 2(1): 41~48, 1982.
 - 9) 奈良 勲, 井上真理恵, 村上紀子, 薬師八重子, 他: 下肢関節固定時の立位重心動揺に及ぼす外力の影響, 理・治療法, 20(3): 190~192, 1986.
 - 10) 渡部和彦: 直立姿勢の研究——姿勢制御時間に関して——, 体力科学, 24: 118~123, 1975.
 - 11) Nashner, L. M.: Fixed Patterns of Postural Responses among Leg Muscles during Stances, Exp. Brain Res., 30: 13~24, 1977.
 - 12) Nashner, L. M., Woollacott, M., Tuma, G.: Organization of Rapid Responses to Postural and Locomotor-like Perturbations of Standing Man, Exp. Brain Res., 36: 463~476, 1979.
 - 13) Cordo, P. J., Nashner, L. M.: Properties of Postural Adjustments Associated with Rapid Arm Movements, J. Neurophysiol., 47(2): 287~302, 1982.
 - 14) Nashner, L. M., Cordo, P. J.: Relation of Automatic Postural Responses and Relation-Time Voluntary Movements of Human Leg Muscles, Exp. Brain Res., 43: 395~405, 1981.
 - 15) 北原正章, 他: 加速度記録図の臨床的応用——斜面台検査加速度記録法について——, 耳鼻咽喉科臨床, 57(1): 57~63, 1964.
 - 16) 北原正章, 佐藤利子: 頭部動揺の加速度成分に関する基礎的研究, 耳鼻咽喉科臨床, 52(10): 94~114, 1959.
 - 17) 宇野良二: 平衡機能の年令の変遷に関する研究——加速度計による身体動揺の観察, 耳鼻咽喉科臨床, 56(2): 24~42, 1963.
 - 18) 佐々木 寛, 生駒尚秋: 耳石器官の生理, 神経進歩, 18(4): 666~672, 1974.
 - 19) 藤原勝夫, 小川吉明, 池上晴夫, 岡田守彦: 立位姿勢における身体動揺の分析, 姿勢研究, 2(1): 1~8, 1982.
 - 20) Shumway-Cook, A., Woollacott, M. H.: The Growth of Stability: Postural Control from a Developmental Perspective, Journal of Motor Behavior, 17(2): 131~147, 1985.

<Abstract>

An Attempt to Quantitatively Assess Equilibrium Reactions.

Hitoshi ASAI, RPT, Mitsutoshi KAWAMURA, RPT, Isao NARA, RPT,
Katsuhiko TACHINO, MD

School of Allied Medical Professions, Kanazawa University

The purpose of this study was to attempt a quantitative assessment of equilibrium reactions. We designed a flatcar that could be horizontally displaced by dropping a 5 kg weight attached to a pulley. The subject was asked to stand on the flatcar which was then horizontally moved 16 cm by the falling force of the weight. The acceleration of the subject was obtained through an accelerometer attached to the low back. Then, we measured peak acceleration in longitudinal, lateral, and vertical directions. The subjects for the study were 37 college students. They were 18 to 33 years old with an average age of 20.9 years, and an average weight of 59.3 kg, and an average height of 165.2 cm.

We divided the subjects into five groups: (1) eyes opened, (2) eyes closed, (3) eyes opened and upper extremities immobilized, (4) eyes opened and neck immobilized, and (5) eyes opened with both upper extremities and neck immobilized.

Although the eyes opened and eyes closed groups showed significant differences ($p < 0.01$) on the first trial, by the sixth trial their accelerations were similar to each other. The eyes opened group had significantly greater ($p < 0.05$) vertical acceleration and greater ($p < 0.05$) longitudinal acceleration than the eyes opened upper extremities immobilized group. The eyes opened upper extremities immobilized group had significantly smaller ($p < 0.05$) vertical accelerations, significantly smaller ($p < 0.05$) longitudinal accelerations, and significantly smaller ($p < 0.01$) lateral acceleration than the eyes opened neck immobilized group. Latencies were 70-90 ms in all groups.

The results suggest that this assessment method of quantitative equilibrium reactions can be applied in clinical situation, although further studies might be necessary.