重心動揺計による身体動揺に関する研究

——基礎的検討と臨床的意義——

東京医科大学耳鼻咽喉科学教室（主任：船坂宗太郎教授）

初 鹿 信 一

A STUDY ON BODY SWAY BY USING A STABILOMETER —FUNDAMENTAL STUDY AND CLINICAL SIGNIFICANCE—

SHIN-ICHI HATSUSHIKA, M. D.

Department of Otorhinolaryngology, Tokyo Medical College, Tokyo

The significance of the body sway test was studied using a stabilometer (SG-1). One hundred and six normal persons were subjected for the fundamental study to analyse nine parameters. In addition, comparison was made between the normal and the vertiginous persons to find useful parameters for differential diagnosis and to determine the clinical significance of this test.

The results obtained were as follows:

- 1) It was concluded that in a test session, the first test values should be discarded, and the second and third test values should be adopted.
- 2) A high correlation was observed between REC AREA, RMS and SD AREA, and between LNG and MX, in normal subjects.
- 3) The daily variation in normal subjects was greater in the eyes closed test than in the eyes open test, except for MX and MY. Although each parameter was stable, a great daily variation was observed in the ratio of the eyes closed to the eyes open test results.
- 4) From the stand point of so-called SN ratio, the results of the eyes open test and the eyes closed test should be evaluated independently.
- 5) There was a significant difference in LNG/TIME, LNG and MX in daily variance, from the dispersion analysis of parameters for factors of the individual, open and closed conditions of the eye, and the daily variance.
- 6) The body sway pattern was more diffuse in the vertiginous than in the normal subjects, on the eyes closed test.
- 7) The normal group was divided into three age groups from the analysis of nine parameters.
- 8) All parameters except for MX and MY were clinically useful, and the ratio of the eyes closed to the eyes open test results was of no use for differentiating the vertiginous from the normal subjects.
- 9) It was difficult to make the etiological diagnosis on the vertiginous patients by a stabilometer test alone, and this should be performed as one of the necessary tests for diagnosis.

Key words: 重心動揺計, 日内・日間変動, SN 比, 分散分析, 年代別変化 A90—0598—24582

1. 緒 言

1849年 Romberg¹⁾ は直立姿勢の観察から、立直り反射経路の障害部位によって身体動揺の変化、開眼時と閉眼時の身体動揺に差がみられることを記載した。

そもそも、人の直立姿勢は絶えず“小刻みな動揺”という修正を繰り返して始めて維持されるものである^{2),3)}。これは、前庭系、視覚系、深部知覚系を入力とし、脳幹、小脳、大脳という経路を介して、全身骨格筋を出力とした立直り反射系の働きによる。したがって、この系のいずれかの部位に障害を来すと、身体動揺の増大や身体の偏倚が出現する⁴⁾。

この立直り反射検査は基本的な平衡機能検査の一つであり、従来より直立検査、マン検査などが広く行われてきた。しかし、これらは数値による表示が不能であり、このため客観的な記録分析の試みがなされてきた。古く1892年 Vierordt⁵⁾ は頭部動揺をすず紙を用いて記録し、Knauer & Maloney⁶⁾ は矢状面と前額面での動きを記録する装置を作製し Cephalograph と名付けた。さらに、Miles⁶⁾ は頭部の前後左右への移動距離を定量的に示す Ataxiometer を考案した。その後、Magnus(1926)⁴⁾ が立直り反射の生理学的意義を解明してから、体動揺の観察が重要視されるようになった。そして、Hellebrandt⁷⁾ は platform 型検出台を作製し、Travis⁸⁾ はスプリングに乗せた検出台とこれに連動する針とからなる Stabilometer を考案した。現在広く用いられているストレインゲージ方式の重心動揺計では真の重心動揺でなく重心動揺に伴う足圧中心の動きが記録されるが、通常の静止起立時には両者間に差がないとされている⁹⁾。最近ではコンピュータが導入され、記録波形の相関分析¹⁰⁾、パワースペクトル分析¹¹⁾、周波数分析¹²⁾ などが容易に行われるようになった。

ところで身体動揺記録および分析については、いかなる目的で何を指標とし、どのような意義があるかなど、臨床的適用の前に基礎的検討がなされねばならない。しかし、これに関する研究は少ない^{13)~20)}。著者は以上の観点から、デジタル表示の重心動揺計を用いて、正常者につき新しいパラメータを含め諸種のパラメータを統計学的に解析した。そして眩暈患者との比較の結果、本検査の意義についていささかの知見を得たのでここに報告する。

II. 対象と方法

検査装置として、9個のパラメータ、すなわち、LNG/TIME, LNG, RMS, REC AREA, SD AREA,

MX, MY, SDX, SDY (これらについては後に詳述する) がデジタル表示される(図1) アニマ社製の重心動揺計(SG-1)を用いた。検査方法は重心動揺検査の基準案²¹⁾に従い、両下肢を接し両腕を体側につけた直立姿勢で、開眼及び閉眼状態でそれぞれ60秒間測定した。なお開眼時には眼の高さで約3m離れた正面の視標を注視させた。

対象は、聴覚、前庭機能に異常を認めない6歳より83歳までの正常者106名と、各種の眩暈症例56名である。研究項目は次の通りである。すなわち、i)20歳代から30歳代の正常者を対象として、同日に5回検査した日内変動の5名の検査値と日を変えて8回検査した日間変動の11名の検査値について統計学的解析を行った。ii)典型的な眩暈4症例群(中枢性眩暈、末梢性眩暈、耳石性眩暈、心因性眩暈)について、5回測

図1 正常者の重心動揺計による記録
上図の中心は重心動揺の記録であり、X軸Y軸はX方向Y方向への動揺幅のヒストグラム。下図は重心動揺のX軸Y軸の成分の時間的パターン。

定による日間変動を9個のパラメータについて分析し、正常者と比較検討した。iii) 正常者を各年代別に9クラスに分け、動揺図の型分類との年代別分布を検討した。さらに9個のパラメータの年代別変化について、開眼時の値、閉眼時の値、開閉眼比のそれぞれの棄却限界値を算出し、また上記の各パラメータ間の相関の有無を検討した。iv) 眩暈症例(中枢性眩暈11名、末梢性眩暈発作時19名、末梢性眩暈非発作時16名、耳石性眩暈9名、心因性眩暈1名)について9個のパラメータを正常者の棄却限界値を参考にして検討した。また前項と同様に、開眼、閉眼時別に動揺型の比較を行った。

III. パラメータの説明

今回の検討に用いた9個のパラメータには従来報告されていないものもあるので簡単に解説する。LNGは60秒間の重心動揺軌跡距離で、50 msecごとに重心の位置を計測し、各計測時に得られた左右(X)、前後(Y)方向の重心位置の変化分から動揺距離を算出し、その60秒間の加算値である。LNG/TIMEはLNGを測定時間60秒で除した値で、1秒当たりの平均重心動揺距離である。RMSは

$$\sqrt{\frac{1}{N}(\sum(X_i - \bar{X})^2 + \sum(Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (\bar{X}: X \text{ の平均値}, \bar{Y}: Y \text{ の平均値})$$

で示される値で、いわば平均的重心点からのばらつきを示す値である。REC AREAは重心動揺のX軸方向への最大変位幅とY軸方向への最大変位幅の積で得られた矩形の面積である。SD AREAは重心動揺のX方向Y方向への変化分について変化幅を軸とした度数分布を求め、これが正規分布すると仮定して標準偏差を得てX方向Y方向の ± 1 SDの変化幅の積で得られた面積に相当する。MX, MYは重心動揺のX成分Y成分の平均値である。SDX, SDYは重心動揺のX成分Y成分の標準偏差である。

IV. 結 果

1) 連続施行による変動について

正常者5名を開眼にて連続5回検査した結果を図2に示した。各パラメータは総じて1回目の検査値は大きく、3回目から安定している傾向を示した。しかし、各検査回数値について、ピアソンの相関係数により有意相関を検定すると、表1に示したように、たとえばLNG/TIME, LNG, MYについては2回目と3回目

図2 連続施行による変動(日内変動)
正常者5名
横軸は施行回数を示す。
縦軸については本文3頁参照。

表1 連続施行による検査回数間の相関

目、LNG/TIME, LNG, SDYについては2回目と5回目が高い相関を示した。同様に、各パラメータ間の相関をみると、表2に示したように、LNGがMXと、RMSがREC AREA, SD AREA, SDX, SDYと、

表2 連続施行によるパラメータ間の相関

LNG/TME	LNG	RMS	REC AREA	SD AREA	MX	MY	SDX	SDY
LNG	**							
RMS								
REC AREA	*	*	**					
SD AREA				**	*			
MX	**	**						
MY			*					
SDX			**	*	*			
SDY			**	**	*	*	*	

正常者 5名
EYES OPEN

危険率
5.0%...*
1.0%...**

図3 日間変動 正常者11名

横軸は施行日数を示す。

縦軸については本文3頁参照。

REC AREA がSD AREA, SDY と, SD AREA がSDX, SDY と, MY がSDY と高い相関を示した。なお, 相関係数は0.7以上であった。

2) 正常者の日間変動について

正常者11名を日を変えて開眼時, 閉眼時で8回検査した結果を図3に示した。MX, MYを除いては, 閉眼時に比べて閉眼時の検査値の方が高く, 各パラメー

図4 開閉比の日間変動 正常者11名

横軸は施行日数を示す。

縦軸については本文4頁参照。

タの日間変動は小さく安定していた。開閉眼比の日間変動を図4に示したが, REC AREAは1.9から2.6, SD AREAは1.7から2.5と変動が大きく, RMSでは1.3から1.4と変動が小さい。またMXとMYとではMXの方が変動が大きかった。

3) SN比²²⁾による比較について

同様に2)項で得られた8日間のくり返しの検査値を用いて開眼, 閉眼時別に各パラメータについてSN比の比較を図5に示した。この場合のSN比 η は因子分散と実験誤差との比較から規定され, 以下の式により得られる。

$$\eta = \frac{1}{N} \frac{(V_M - V_e)}{V_e}$$

 V_M : 因子分散 V_e : 誤差分散 N : 検査回数

ここで実験誤差とは, 全変動と個体間の変動の差であり, 個体間の変動が大であると実験誤差が小さくなり, その結果としてSN比が大きくなる。そして, 大きなSN比では, ある個体の真値(その個体識別に特

有な値)が表現されやすいことを意味する。なお、SN比は一元配置法²³⁾で論ぜられるため開眼閉眼時別に検討した。結果は、開眼時ではLNG/TIME, LNG, SDX, MYの順に大であり、閉眼時ではMY, RMS, LNG/TIME, LNG, SD AREA, SDYの順に大であ

図5 各パラメータのSN比 正常者11名
(この図のS/N比については本文4頁参照)

図6 3元配置分散分析による比較
正常者11名

個体、開閉眼、日間を変動因子として各パラメータにおける分散分析の結果を図示したもので、個体の**印はそのパラメータが個体間に有意差を有することを意味する。また個体と開閉眼の太線はそのパラメータでみる限り、たとえばAという個体とBという個体の開閉眼に有意差があることを意味する。

った。

4) 三元配置分散分析^{23),24)}による比較

2)項で得られた正常者の検査値をもとに、個体、開閉眼、日間というそれぞれの検査値を因子として、以下の式により検出した(F検定)。

$$X_{ijk} = \bar{x} + ai + bj + ck + (ab)ij + (bc)jk + (ac)ik + \varepsilon_{ijk}$$

$$\bar{x} : \text{全平均} \left[\bar{x} = \frac{\sum X_{ijk}}{11 \times 2 \times 8} \right]$$

a : 個体, i=1~11

b : 開閉眼時の検査値, j=1~2

c : 日間の検査値, k=1~8

ε : 測定誤差

図6はその結果を模式化したものである。個々の因子内変動については、**印に見られるように個体、開閉眼はすべてのパラメータにおいて1%危険率で有意差を認めた。しかし、日間はLNG/TIME, LNG, MXのみに有意差を認めたに過ぎない。因子間変動については、すべてのパラメータにおいて個体と開閉眼の間に有意差を認めたが、個体と日間の間では、MX, MY

図7 正常者と典型的眩暈症例の比較
(日間変動(図3参照)の開眼時での比較)

にのみ有意差を認めた。なお開閉眼と日間の間では、すべてのパラメータにおいて有意差を認めなかった。

5) 典型的眩暈症例の日間変動

i) 開眼時、閉眼時について

耳石性眩暈では、すべてのパラメータが開眼、閉眼時のいずれにおいても正常者のそれに類似していた(図7, 8)。しかし、中枢性、末梢性及び心因性眩暈の検査値ないし日間変動は正常者より有意に大きかった。また、中枢性眩暈と末梢性眩暈の間には有意差は認めなかった。そして心因性眩暈は、正常者、中枢性眩暈、末梢性眩暈よりも大きな値を示し(MX, MYを除く)、他のものでは比較的安定している日間変動も大であった。

ii) 開閉眼時の比について

眩暈症例では正常者に比し LNG, RMS, SD AREA, SDX, SDY で日間変動が大きかった。耳石性、中枢性、末梢性の REC AREA, 耳石性、心因性の MX, そして末梢性、心因性の MY の日間変動が正常者に比し大であった(図9)。

6) 正常者群の年代別変化

図8 正常者と典型的眩暈症例の比較
(日間変動(図3参照)の開閉時での比較)

i) 動揺型について

正常者群の年代別変化を追求するため106名を10歳ごとに9クラスに区分し、まず既報告の成績との異同をみるために開眼時と閉眼時別に動揺図を5つの動

図9 正常者と典型的眩暈症例の比較
(日間変動(図4参照)の開閉比での比較)

表3 動揺型(正常者)

		前後型	求心型	ひまん型	左右型	多中心型
9歳以下	開眼	0	5	1	0	0
6名	閉眼	1	3	2	0	0
10歳代	開眼	3	7	4	0	1
15名	閉眼	0	7	6	0	2
20歳代	開眼	4	8	1	2	0
15名	閉眼	2	8	4	1	0
30歳代	開眼	1	5	5	0	1
12名	閉眼	4	3	4	1	0
40歳代	開眼	3	4	6	1	0
14名	閉眼	3	6	4	0	1
50歳代	開眼	7	4	3	0	0
14名	閉眼	3	6	3	0	2
60歳代	開眼	0	8	4	1	1
14名	閉眼	2	5	6	0	1
70歳代	開眼	3	6	2	1	1
13名	閉眼	2	5	5	1	0
80歳代	開眼	0	0	3	0	0
3名	閉眼	0	1	2	0	0
総計	開眼	21	47	29	5	4
106名	閉眼	17	44	36	3	6

揺型に分類し、年代別分布を検討した(表3)。各年代とも開眼、閉眼時にかかわらず求心型、びまん型、前後型が大部分を占め、全体では求心型、びまん型の順に多く、閉眼でややびまん型が増加する傾向を示した。

ii) 各パラメータについて

各パラメータについて開眼、閉眼時の検査値の平均を年代別に図10に示した。MYを除くすべてのパラメータは20歳代から60歳代をいわば底とする谷型を示した。MYは10歳代から高値を示す特異な曲線となった。なお、MX、MY以外は開眼時に比べて閉眼時の検査値が大であった。

各パラメータについて、開閉眼比の年代別平均値を図11に示した。各パラメータを通じて共通の傾向は認められなかったが、前の結果より、正常者群を同一傾向を示す19歳以下、20歳から69歳そして70歳以上の3つの年代群に分けることが妥当と考えられた。そこでこの3群について各パラメータの棄却限界値を開眼時、閉眼時で算出した。また参考のため開閉眼比についても行った(表4)。

7) 正常者群のパラメータ間の相関について

図10 正常者の年齢別変化

6) 項で測定した正常者群の各パラメータの値及び身長についてピアソンの相関係数を算出し、有意相関の組み合わせを表5に示した。なお、各相関係数は0.7以上であった。

i) 開眼時について

身長はMYと、LNGはREC AREA、MXと、RMSはREC AREA、SD AREA、SDX、SDYと、

図11 正常者の開閉比の年齢別変化

表4 パラメータの正常者棄却限界値

	EYES OPEN			EYES CLOSED			EYES CLOSED/EYES OPEN		
	19歳以下	20歳-69歳	70歳以上	19歳以下	20歳-69歳	70歳以上	19歳以下	20歳-69歳	70歳以上
LNG/TIME mm	19.09	12.69	17.57	28.13	22.46	30.56	1.84	2.04	2.03
LNG mm	1095.87	763.72	1430.59	1687.12	1347.29	1832.91	1.84	2.04	1.95
RMS mm	9.03	7.97	9.64	11.46	10.58	12.12	1.72	1.79	1.99
REC AREA cm ²	12.45	8.97	12.49	22.27	18.23	26.09	3.34	3.50	3.27
SD AREA mm ²	146.32	124.29	172.49	246.96	205.80	288.84	2.84	3.18	2.93
MX mm	4.67	6.60	6.08	6.27	5.77	8.14	1.47	1.34	1.46
MY mm	107.42	109.01	123.92	110.65	112.39	118.73	1.12	1.09	1.09
SDX mm	5.11	4.91	5.67	7.03	6.41	8.22	1.66	1.75	1.69
SDY mm	7.54	6.39	7.97	9.20	8.62	9.12	2.11	1.95	1.89

正常者 109名 19歳以下……20名
20歳-69歳……74名
70歳以上……15名

表5 パラメータ間の相関

REC AREA は SD AREA, SDX, SDY と, SD AREA は SDX, SDY と高い相関を示した (表5の上段).

ii) 閉眼時について

身長は MY と, LNG は RMS, REC AREA, SD AREA, MX, SDX と, RMS は REC AREA, SD AREA, SDX, SDY と, REC AREA は SD AREA, SDX, SDY と, SD AREA は SDX, SDY と, SDX は SDY と高い相関を示した (表5の下段).

8) 眩暈症例群について

i) 動揺型について

眩暈症例 56 例を中枢性眩暈, 末梢性眩暈発作時, 末梢性眩暈非発作時, 耳石性眩暈(良性発作性頭位眩暈), 心因性眩暈の 5 群に分け, 動揺図を正常者群と同一規準に従って 5 つの動揺型に分類し比較した (表6). 中枢性眩暈は開眼, 閉眼時ともにびまん型が大部分を占

EYES OPEN 20歳～69歳

図12 各疾患群におけるパラメータ値の一覧図(開眼時) 横線は正常者棄却限界値

表 6 動 揺 型 (眩暈症例)

		前 後 型	求 心 型	びまん型	左 右 型	多中心型
中枢性眩暈 11名	開眼	1	1	6	2	1
	閉眼	1	0	10	0	0
末梢性眩暈 発 作 時 19名	開眼	5	4	8	1	1
	閉眼	2	0	17	0	0
末梢性眩暈 非発作時 16名	開眼	5	5	5	0	1
	閉眼	0	3	13	0	0
耳石性眩暈 9名	開眼	3	5	1	0	0
	閉眼	1	2	6	0	0
心因性眩暈 1名	開眼	0	0	1	0	0
	閉眼	1	0	0	0	0
総 計 56名	開眼	14	15	21	3	3
	閉眼	5	5	46	0	0

図13 各疾患群におけるパラメータ値の一覧図(閉眼時)

横線は正常者棄却限界値

め、末梢性眩暈では発作時開眼でびまん型が多く、非発作時開眼ではびまん型、前後型、求心型の各型に分散した。耳石性眩暈では開眼時で前後型、求心型が多かった。しかし、いずれにおいても閉眼時ではびまん型が最多数を占めた。したがって、全体的にみるとびまん型が開眼時で約 2/3 を、閉眼時で約 4/5 を占める結果となった。この事実は正常者群が開眼、閉眼時ともに求心型が多いことと対照的であった。

ii) 眩暈症例と正常者棄却限界値との関係

図 12, 13 は 5 群に分類した眩暈症例別に個々の例の各パラメータ値を图示したものである。なお、動揺型別に異なった印を付してある。図 14 は同様に各パラメータにおける開閉限比を示したものである。

a) 開眼時について

MY は各症例とも正常者の棄却限界値付近にあった。群別では末梢性眩暈非発作時(C)と耳石性眩暈(D)の大多数がすべてのパラメータで棄却限界内にあったが、中枢性眩暈(A)のすべてと末梢性眩暈発作時(B)の大部分が LNG で正常者の棄却限界を越えた。また例数は少ないが、心因性眩暈(E)では MX, MY を除き棄却限界外にあった(図 12)。動揺型については、個々の症例で特徴的なことは見い出せなかった。

b) 閉眼時について

開眼時とおおむね一致した結果を得た。動揺型については、前述のごとくびまん型が増加したが、やはり特徴的なことは見い出せなかった(図 13)。

図14 各疾患群におけるパラメータ値の一覧図(開閉比)
横線は正常者棄却限界値

c) 開閉眼比について

MY は各群ともほぼ棄却限界内でしかも棄却限界値付近に集中した。またそれ以外のパラメータでも、各群とも多くが棄却限界内にあり正常者と区別することは困難であった(図14)。次に、a)とb)の結果をもとに各群ごとに棄却限界外にあるものを開眼、閉眼時別に百分率で示し、55%以上を陽性とみなして太枠で示した(表7)。末梢性眩暈非発作時と耳石性眩暈は開眼、閉眼時ともすべてのパラメータで低い値を示し、正常者とは区別しにくいという結果を得た。一方、中枢性眩暈は開眼時に LNG/TIME, LNG, RMS, REC AREA, SD AREA, MY, SDX が、閉眼時に LNG/TIME, LNG, RMS, REC AREA, SD AREA, SDX, SDY が高い値を示した。末梢性眩暈発作時は開眼、閉眼時とも LNG/TIME, LNG が高い値を示した。また心因性眩暈は1例ではあるが開眼、閉眼時とも MX, MY を除いたパラメータで高い値を示した。以上より識別に関するパラメータは、LNG, LNG/TIME が最もすぐれているという結果となった。つまり、末梢性眩暈非発作時と耳石性眩暈はどのパラメータを用いても正常者とは区別しにくい、中枢性眩暈、末梢性眩暈発作時及び心因性眩暈は MX, MY を除くパラメータを用いることで正常者と区別でき、さらに、中枢性眩暈と末梢性眩暈発作時はパラメータ別に検討することによりある程度鑑別できる可能性があるという結果を得た。

V. 考 按

重心動揺検査は、眩暈患者のふらつきを客観的かつ

表7 眩暈症例と正常者棄却限界値の比較
値の大きなもの程、鑑別に有用であることを示すものであるが、本研究では一応55%以上を太枠で示した。

	EYES OPEN					EYES CLOSED				
	中枢性眩暈 11名	末梢性眩暈 発作時 15名	末梢性眩暈 非発作時 16名	耳石性眩暈 9名	心因性眩暈 1名	中枢性眩暈 11名	末梢性眩暈 発作時 15名	末梢性眩暈 非発作時 15名	耳石性眩暈 9名	心因性眩暈 1名
LNG/TIME	100	74	6	0	100	100	63	13	0	100
LNG	100	74	6	0	100	100	63	13	0	100
RMS	55	37	6	0	100	64	47	6	11	100
REC AREA	64	42	0	0	100	64	47	13	11	100
SD AREA	55	32	0	0	100	64	47	6	11	100
MX	36	5	19	22	0	36	16	13	11	0
MY	55	26	13	11	0	27	21	6	0	0
SDX	82	42	25	0	100	73	47	13	0	100
SDY	45	37	13	0	100	64	37	6	11	100

棄却限界外×100(%)
全例数

*太枠は55%以上

直接的に記録できる検査法と言える。しかし、その臨床応用面においては必ずしも満足するものに至っていない。その理由として、第一に、いかなるパラメータを用い、どのように判断するかがいまだ確立されていない、第二に、最近の ME の進歩により、いろいろな分析法が開発されたが、かえって結果の解釈が複雑になっていることがあげられよう。

以上から、まず正常者についての基礎的検討をした上で眩暈症例と比較し臨床応用すべきであると考え、まず正常人を対象とした基礎的検討を行った。

1. 正常者についての検討

1) 連続施行による変動について

まず何回目の検査値を採用するかを検討した。これに関しての報告は少なく、わずかに田口ら¹⁴⁾が正常者の重心動揺距離の経時的変動について検討し、ほぼ一定した値を示すと述べているにすぎない。多くの施設では3回検査での一番良い値を採用するという方式がとられている。著者は5回の施行を行い、関連処理した結果(図2、表1参照)1回目の検査値は捨て2回ないし3回目の検査値を採用すべきだとの結論となった。これは1回目の検査は被検者が検査に馴れていないためと考えられる。

2) パラメータ間の相関について

表2の20歳から30歳の正常者5名の連続検査時の結果と表5の各年代の正常者106名の結果とがよく一致したことから、正常者では不規則な動揺が少ないため、REC AREA と RMS, SD AREA の相関が高いのは当然である。一方異常者では、動揺が不安定でひとつの所に集中していないため、RMS と SD AREA は相関があるが、RMS と REC AREA は相関がないのであろう。また、LNG と MX の相関が高いことから、LNG には左右成分が強く関与していることが示唆された。これは、山本ら²⁵⁾の方向別動揺速度の分析結果と矛盾しない。身長については MY 以外のものは相関がないことから(表5)、身長による補正は必要ないと結論された。武谷¹⁹⁾は身体動揺面積と身長との間に $r=0.31$ の相関があるため補正を行っているが、前述のごとく最も重要なパラメータである LNG との間に有意相関がないので補正は必要ないと思われる。

3) 日間変動について

検査値の再現性は大切なことであるが、これに関する基礎的検討の報告は少ない。そこで図3に示したように日時を変え8回検査したが、各パラメータは開眼、閉眼時とも安定しており再現性があることを確認し

た。この事実は、田口¹⁴⁾の報告や Wapner & Whitkin²⁶⁾の報告と一致している。

MX, MY を除くパラメータでは、開眼時より閉眼時の検査値が大きかった。このことは、閉眼では視覚消失による動揺増大に加えて、閉眼時の眼球上転に伴う外眼筋からの刺激が立直り反射の中枢とされている小脳、脳幹に加わった結果と考えられる。Baker ら²⁷⁾は、猫の外眼筋から求心線維が小脳虫部の皮質領野に投影されていることを見出し、川野ら²⁸⁾も閉眼の影響は視覚以外に、外眼筋—小脳虫部の情報の関与も否定しえないと述べている。一方、MX, MY は一方向性の平均値であるので、正常な立直り反射を示す正常人にとっては開眼、閉眼時で大きな差がないのが当然であろう。

4) 開閉眼比について

正常人の各パラメータの開閉眼比の日間変動は図 4 に示すごとく安定しておらず、再現性に乏しかった。また眩暈症例と正常者との区別も困難であった（図 9, 14）。田口ら¹⁵⁾は正常者の動揺軌跡距離の開閉眼比は平均値で 2.00 を越えるものはないが、変動幅はかなり広いと報告し、田近²⁹⁾も末梢性眩暈発作残留期と中枢性疾患の動揺距離の開閉眼比には差が認められなかったと述べている。以上のことより日常外来で頻用されているロンベルグテストは再検討の必要があると考えられる。そもそもロンベルグテストは、脊髄の後索障害や前庭系の障害では視覚による代償のため閉眼により動揺が大となり、小脳障害では開眼ですでに動揺が大なるため開眼閉眼で差がないことを見出すものである。しかし、著者の結果からは日差が大きく、また眩暈症例の陽性率からみても診断的価値に疑問が生じた。この点については、今後検討がなされるべきであろう。

5) SN 比について

前に述べたようにここで言う SN 比が大きい場合は個人の特性が表現されやすいことになるので、SN 比の大きいパラメータが重要なパラメータとなる。しかし、SN 比は異常の検出のし易さを示す尺度ではない。このためどのパラメータが異常を検出しやすいか、つまり臨床上有用な指標であるかの検討は、眩暈症例についての追求が必要である。この観点から正常者と眩暈症例との比較を行ったが、開眼で SN 比の小さい RMS や REC AREA や SD AREA などが臨床的にはむしろ有用なパラメータであり、また閉眼で SN 比の大きい MY は逆にあまり有用でないという結果とな

った。MY は身長との相関が高いこと（表 5）、図 8 にみるように病的状態でも正常者との差が比較的小さいことなどがその理由であろう。ただ注意すべきは、開眼時で SN 比の小さいパラメータが閉眼時に大となるものがあることである。このため開閉眼比を求める前に開眼時と閉眼時それぞれの検査値を検討する必要がある。

6) 三元配置分散分析について

因子内分析については、すべてのパラメータで個体間に有意差があったが、これは正常者でも、その個体に特有の変動があることを意味するものである。また、開閉眼時についても同様にすべてのパラメータで両者間に有意差があったが、これは開眼時と閉眼時の身体動揺が等しくないことを示す。次に日間変動については、有意差のある LNG/TIME, LNG, MX は日を変えて検査を繰り返す必要があり、有意差のないその他のパラメータはその必要のないことが明らかとなった。

因子間分析については、有意差がある場合は因子間に交互作用が存在することを示す。たとえば、すべてのパラメータで個体と開閉眼の間に有意差がある場合は、個体の開眼時と閉眼時の検査値とからその個体を識別できることを意味する。これは考按の 4)、5) で述べているように開、閉眼別の検査値の検討が必要である根拠を示すものである。また、すべてのパラメータで開閉眼と日間の間に有意差がないことは、開閉眼時の検査値は日を変えて検査しても本質的には差がないことを意味する。これは考按の 3) で述べたことと一致する。さらに個体と日間の間に有意差があることは、日を変えた検査値からその個体を識別できることを意味する。そして図 6 から MX, MY を用いれば、この方法で個体を識別できることになる。

さて因子内分析と因子間分析を含めて総合的に考えると、MX が最良で次いで MY, LNG/TIME, LNG が良い指標であるということになる。ただしこれはあくまでも正常者の場合であり、異常者を識別する指標の決定には、後述するごとく眩暈症例との比較検討が必要である。

7) 動揺型の意義について

年代別に分けて動揺型を追求した報告はない。時田ら¹⁸⁾は 15 歳～50 歳にわたる正常者 30 例を求心型、びまん型、多中心型、前後型、左右型に分類した。それによると求心型が最も多く、左右型は 1 例もなく、また開眼時と閉眼時では差がなかったという。著者の結

果では左右型も3～5%存在し、開眼時に比べて閉眼時でびまん型が増加していた。一方、年代別には80歳代という高齢を除き特徴的なことはなかった。しかしながら、重心動揺図の型分類にはかなり主観が入るため注意を要する。

8) 年代別変化と正常者棄却限界値について

年代別の報告として、岡部³⁰⁾は10歳代後半までは年齢とともに動揺が減少し、10歳代後半から20歳代にかけ最も動揺が少なく、以後再び動揺が増し、特に70歳代以後において増加が著明になると報告した。一方、時田¹⁸⁾は14歳以下と51歳以上で動揺が大きく、特に閉眼時に大きな値をとるとし、武谷¹⁹⁾は青年層と70歳前後の老人との比較を行い、老人群に動揺が大きいと述べた。また、平林³¹⁾は小児を対象とし年齢が増すにつれて動揺は減少し12歳～15歳でほぼ成人値に達すると報告している。著者の結果も以上の報告とほぼ合致し、年代別にみると、開眼時と閉眼時の検査値は各パラメータで19歳以下、20歳～69歳、70歳以上の3つの群に分けられた。

70歳以上における差は、動揺に関する末梢及び中枢機構の加齢現象によるものと考えられる。末梢機構における加齢変化としては、筋力低下、筋における神経線維数の減少³²⁾、感覚受容器の閾値上昇³³⁾などが言われており、また中枢機構ではシナプス反射時間の延長³⁴⁾、平衡覚にあずかる神経線維数の減少³⁵⁾、小脳のプルキニエ細胞の減少³⁶⁾、大脳皮質の細胞数の減少³⁷⁾などがあげられている。正常者の棄却限界値は3つの年代群に分けて出すのが適当であるが、著者のように9個のパラメータを用い、また3つの年代群に分けた上で、正常者の棄却限界値を報告した論文はない。ただし成人正常者についてLNGの棄却限界値を求めた田口¹⁴⁾、田近²⁹⁾や山本³⁸⁾の値と著者の20歳代から60歳代までの値とはおおよそ一致した。また、開閉眼比の棄却限界値については、田口¹⁵⁾のLNGでの報告しか見当たらないが、これも著者の値とおおよそ一致した。重心動揺検査の基準値²¹⁾は作成されたが、正常者の棄却限界値の検討については今後の検討が望まれる。

2. 眩暈症例についての検討

1) 典型的眩暈4症例群の日間変動について

開眼、閉眼時で耳石性眩暈症例が正常者に類似した。本症では頭位を変換してはじめて症状が出るので重心動揺のように直立位の検査では当然のことと考えられる。中枢性、末梢性、心因性眩暈は、正常者の検査値

より大で、正常者と判別可能である。また中枢性と末梢性とは一応区別できる。心因性眩暈は日間変動が大でありこれが心因性の特徴と考えられ、検査は日を変えて行う必要がある。ただし開閉眼比の日間変動は4症例群とも大で鑑別は不能であり、さらに正常者とも区別できない。この点でも開閉眼比は良い指標とは言えない。

2) 眩暈症例群の動揺型について

時田²⁹⁾は5つの動揺型に分け、軽度障害例や代償例では動揺型を特定できないこともあるが、特定し得た場合は局在診断価値があると述べた。しかし著者の結果では、正常者と異常者を問わずいずれの動揺型も存在すること、眩暈症例群による型分布の差がないこと、また動揺型の判定に主観がある程度関与することなどから、動揺型による局在診断は困難と推定された。

3) 眩暈症例と正常者棄却限界値について

開眼閉眼の結果から、末梢性眩暈非発作時と耳石性眩暈は正常者群と区別できなかった。しかし中枢性眩暈、末梢性眩暈発作時、心因性眩暈はMX、MYを除くパラメータを用いて正常者群と区別でき、さらに耳石性眩暈と末梢性眩暈非発作時とも区別できた。なお中枢性眩暈と末梢性眩暈発作時とはある程度の鑑別が可能であることが示された。したがってMX、MY以外のパラメータが臨床上有用であると結論された。一方、開閉眼比は、各症例群の鑑別ができなばかりか、正常者とも区別できず、良い指標とは言えないことが明らかとなった。

3. 重心動揺検査の臨床的意義について

本検査の臨床的意義については、従来1)平衡機能障害の有無や程度の把握、2)病巣局在診断、3)疾患経過の観察、4)治療効果の判定、5)平衡機能の発達などに有用であると言われてきた。しかし、著者の正常者群についての基礎的検討および眩暈症例群と正常者群との比較検討から、重心動揺計検査のみで2)の病巣局在診断をすることは困難であると結論された。しかし、2)以外については、重心動揺計検査は、特に本装置では短時間に施行でき、眩暈患者への負担も少なく、検査結果が数値として残せることなどから臨床的に有意義な検査であると言える。

VI. 要約と結論

身体動揺に関する重心動揺計検査の意義と有効な指標を明らかにするため、正常者106名において、諸種のパラメータにつき統計学的に基礎的な検討を行い、

また56名の眩暈症例について正常者との比較検討を行った。

1) 正常者の連続5回の検査結果では、各パラメータとも1回目の検査値が大きく、2回目と3回目以降との高い相関が示された。したがって1回目の検査値は捨て、2回目ないし3回目の検査値をとるべきと結論された。

2) 正常者のパラメータについては、REC AREAがRMS及びSD AREAと、身長がMYと、LNGがMXとそれぞれ高い相関を示した。

3) 正常者の日間変動は、MX、MYを除いて開眼時に比べて閉眼時が大で、各パラメータはそれぞれ一応安定しているものの、開閉眼比の日間変動は大であった。

4) SN比については、開眼時はLNG/TIME、LNG、MY、SDXが大で、閉眼時ではLNG/TIME、LNG、RMS、SD AREA、MY、SDYが大であった。また閉眼時にSN比が大きくなるパラメータがあることから、検査値は開眼時、閉眼時別に考慮する必要がある。

5) 三元配置分散分析によると、因子内では、個体と開閉眼はすべてのパラメータに、日間変動はLNG/TIME、LNG、MXに有意差を認め、因子間では、個体と開閉眼ではすべてのパラメータに、個体と日間変動ではMX、MYに有意差を認めたが、開閉眼と日間変動ではすべてのパラメータに有意差は認められなかった。

6) 正常者群の動揺型については、開眼、閉眼時とも求心型、びまん型、前後型が大部分を占め、各年代による差はなかった。眩暈症例群では正常者群と比べて、閉眼時でびまん型が多かった。

7) 正常者群を開眼時、閉眼時の各パラメータにつき年代別にみると、19歳以下、20歳から69歳、70歳以上の3つの年代群に分けられた。各パラメータについて、開眼時、閉眼時、開閉眼比の正常値の棄却限界を算出した。

8) 典型的眩暈4症例群の日間変動について正常者と比較したところ、開眼時、閉眼時で差を認め、また病態差も一応区別できた。しかし、開閉眼比では正常者との差および病態差は検出できなかった。

9) 正常者棄却限界値にもとづく検討では、中枢性眩暈、末梢性眩暈発作時において陽性率が高く、特に前者で著しかった。また、開眼時、閉眼時で陽性率に差を認めなかった。なお開閉眼比は各眩暈症例群とも

多数が棄却限界内にあった。

10) 臨床的には、MX、MYを除くパラメータが良い指標と言える。なお開閉眼比は有用でないと判明した。

以上より、重心動揺計による検査のみでは眩暈患者の病巣診断は困難で、補助診断の一つとして行われるべきだと結論された。

参考文献

- 1) Romberg MM : A manual of the nervous disease of man. Sydenham Trans, London, 1853.
- 2) Vierordt K : Grundriss der physiologie des Menschen. Tübingen, 1862.
- 3) Thomas DP et al. : Postural movement during normal standing in man. J Anat 93 : 529, 1959.
- 4) Magnus R : Some results of studies in the physiology of posture. Part II. Lancet 2 : 585-588, 1926.
- 5) Knauer A and Maloney WJMA : The cephalograph : a new instrument for recording and controlling head movement. J Nerv Ment Dis 41 : 75-81, 1914.
- 6) Miles WR : Static equilibrium as a useful test of motor control. J Industr Hyg : 3 : 316-331, 1922.
- 7) Hellebrandt FA : Standing as a geotropic reflex. The mechanism of the asynchronous rotation of motor units. Am J Physiol 121 : 471-474, 1938.
- 8) Travis RC : A new stabilometer for measuring dynamic equilibrium in the standing position. J Exp Psychol 34 : 418-424, 1944.
- 9) Murray MP, Seireg A and Scholz RC : Center of gravity, center of pressure, and supportive forces during human activities. J Appl Physiol 23 : 831-838, 1967.
- 10) 時田 喬 : 直立時の身体動揺の分析. 耳鼻臨床 63 : 363-387, 1970.
- 11) Aggashyan RV : On spectral and correlation characteristics of human stabilograms. Agressologie 13 : 63-69, 1972.
- 12) 田口喜一郎 : 重心動揺の周波数分析. 耳鼻臨床 70 : 825-831, 1977.
- 13) 田口喜一郎 : 重心動揺の正常範囲について. 耳鼻咽喉 46 : 6 : 415-419, 1974.
- 14) 田口喜一郎, 依田美千穂 : 重心動揺軌跡距離測定法. 日耳鼻 79 : 835-843, 1976.
- 15) 田口喜一郎, 依田美千穂 : 重心動揺分析法. 日耳鼻

- 79 : 1576-1589, 1976.
- 16) 田口喜一郎：重心位置の経時的変動の分析。耳鼻臨床 80 : 217-226, 1977.
 - 17) 田口拓雄：起立時身体動揺の研究。耳鼻臨床 70 増 2 : 1065-1112, 1977.
 - 18) 時田 喬, 松岡豊彦, 早野洋司, 田口拓雄, 島田六郎：頭部並びに重心動揺計による立直り反射検査。耳鼻臨床 65 : 5 : 443-456, 1972.
 - 19) 武谷 力：重心計を用いた人体の身体動揺に関する研究。耳鼻咽喉 22 : 608-621, 1976.
 - 20) 長山郁生：重心動揺計による身体扁位の観察。耳鼻臨床 76 : 2 : 197-222, 1983.
 - 21) 重心動揺検査の基準案：Equilibrium Res 42 : 367-368, 1983.
 - 22) 田口玄一：校正後の誤差分散と SN 比：測定法の評価と管理。日本規格協会, 1972, 15-22 頁。
 - 23) 加納克己：分散分析：医学統計学, 南江堂, 東京, 1983, 92-96 頁。
 - 24) 中村慶一：三元配置：応用統計学—分散分析と回帰分析—, 森北出版, 東京, 1981, 120-128 頁。
 - 25) 山本昌彦, 小松崎篤：身体重心動揺における方向別速度成分の解析—眼振との関係—。耳鼻臨床 77 : 6 : 2206-2216, 1984.
 - 26) Wapner S and Witkin HA : The role of visual factors in the maintenance of body-balance. Am J Psychol 63 : 385-408, 1950.
 - 27) Baker R, Precht W and Llinas R : Mossy & climbing fiber projections of extraocular muscle afferents to the cerebellum. Brain Research 38 : 440-445, 1972.
 - 28) 川野六郎, 徳増厚二, 竹内義夫：重心動揺に対する視覚系の抑制。Equilibrium Res 37 : 118-122, 1978.
 - 29) 田近由美子：重心動揺移動距離と重心動揺図 (X 軸長, Y 軸長) についての研究。金沢大学十全医学会雑誌 88 : 122-137, 1979.
 - 30) 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 52 : 265-277, 1975.
 - 31) 平林千春, 田口喜一郎：小児の発育に伴う重心動揺の定量的変動。Equilibrium Res 44 : 252-256, 1985.
 - 32) Cottrell L : Histologic variations with age in apparently normal peripheral nerve trunks. Arch Neurol Psychiat 43 : 1138-1150, 1940.
 - 33) Newman HW and Corbin KB : Quantitative determination of vibratory sensibility. Proc Soc Exp Biol Med 35 : 273-276, 1936.
 - 34) Timiras PS and Vernadakis A : Structural, biochemical, and functional aging of the nervous system. In : Timiras, P. S. Developmental Physiology and Aging. Chapt. 26, The Macmillan Company, New York, 1972, pp. 502-526.
 - 35) Rasmussen AF : Studies of the VIIIth cranial nerve of man. Laryngoscope 50 : 67-83, 1940.
 - 36) Ellis RS : Norms for some structural changes in the human cerebellum from birth to old age. J Comp Neurol 32 : 1-33, 1920.
 - 37) Brody H : Organization of the cerebral cortex. III. A study of aging in the human cerebral cortex. J Comp Neurol 102 : 511-556, 1955.
 - 38) 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.
 - 39) 時田 喬：重心計。耳鼻咽喉 53 : 747-753, 1981.
-
- 稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました東京医科大学耳鼻咽喉科学教室、船坂宗太郎教授に深謝いたします。
- また、直接の御指導を戴きました東京警察病院耳鼻咽喉科、佐藤恒正博士に甚大なる謝意を表します。更に、本研究に協力していただいた東京警察病院、鈴木秀明博士ならびに科研製薬株式会社の藤谷佑三氏に感謝致します。
- なお、本研究の要旨は、第 44 回日本平衡神経科学会 (1985)、第 87 回日本耳鼻咽喉科学会総会 (1986)、第 45 回日本平衡神経科学会 (1986) において口演した。
-
- (原稿受付 昭和 61.11.29 日急載)
- 別刷請求先 〒160 東京都新宿区西新宿 6-7-1
東京医科大学耳鼻咽喉科学教室 初鹿信一