ヒト直立時重心動揺図の年齢変化†

八 木 一 記*・藤 野 明 人・徳 増 厚 二
伊 保 清 子・米 田 敏

緒 言

重心動揺検査は、立直り反射検査の一つとして、その重要性が認識され、検査で得られる種々のパラメータの意義も判明しつつある¹⁾。しかしながら、年齢などの正常域の設定を含めその基準化はいまだ確立されていない。

今回、正常被検者のロンベルグ姿勢直立時重心動揺検査で、動揺軌跡距離、動揺面積、左右方向および前後方向動揺最大幅の測定値ならびに周波数分析結果について年齢を考慮して検討した。

研究対象

正常者の重心動揺軌跡距離、動揺面積、左右方向および前後方向動揺最大幅の測定は、昭和60年8月、9月の北里大学病院人間ドック受診者229名(30-71歳、男性153名、女性76名)、学生及び検査技師71名(20歳代、男性31名、女性40名)、計300名を対象とした。周波数分析については健康青壮年者20名(18-49歳、男性13名、女性7名)と健康高齢者10名(65-78歳、男性5名、女性5名)の両群について比較検討した。

研究方法

体重補正つきの重心動揺計(パテラ S110-A)を使用した。

周囲は静かで明るく(照度 980 lux)、特に方向を認知させる音や光は除いた。被検者に2 m前方で目の高さに合わせた径 1.5 cm の十字型の赤色固定指標の中心を注視させ、裸足または靴下のまま両足内縁を接した閉足位で、両側上肢は軽く体側に接した自然の直立姿勢、即ちロンベルグ姿勢で、水平位に固定した検査台上に直立させ、開眼 60秒と、軽く眼瞼を閉じた閉眼 60秒で測定した。

重心動揺軌跡距離、動揺面積、左右方向および前後方向動揺最大幅の平均値、95%信頼限界上限(片側検定)を男女別の20、30、40、50歳代及び60歳以上の各年代ごとに、開眼、閉眼のそれぞれの条件下で求めた。

動揺軌跡距離(mm)は重心動揺計より直接読み取り、左右方向および前後方向動揺最大幅(mm)はXYレコーダ上に記録した重心動揺図より計測した。動揺面積(mm²)は重心動揺図の最大外周で囲まれた図の面積を自動プランニメータ(タマヤプランニクスセブン)で2回測定しそれを平均した²⁾。周波数分析は、データレコーダに記録した左右、前後方向の動揺波形を10 Hz low pass filter を通し、シグナルプロセッサ(三栄 7T08)によりFFT方式で実施した。解析時間 51.2 sec、サンプリング時間間隔 50 msec、分解能 0.0195 Hz で、パワースペクトラムを求め、それを更にルート変換し振幅スペクトラム値として測定した。解析方法は10 Hz 以下の周波数を0-0.5070 Hz、0.5070-1.0100 Hz、1.0140-2.0085 Hz、1.9890-3.0030 Hz、3.0030-4.0170 Hz、4.0170-5.0115 Hz、5.0310-9.9450 Hz の7周波数帯域に分け、10 Hz 迄の総振幅値に対するおのおのの周波数帯域の振幅値の和の比を百分率として表し、その平均値と標準偏差を求めた³⁾。

結 果

表1から4に、それぞれ、重心動揺軌跡距離、動揺面積、左右方向および前後方向動揺最大幅について、各年齢ごとの男女別に開閉眼時それぞれの平均値、標準偏差と95%信頼限界上限(Xu)を示した。周波数分析については、表5、表6に、それぞれ、左右方向、前後方向の動揺における各周波数帯域での百分率の平均値と標準偏差を18歳から49歳までの若壮年者群(以下A群とする)と65歳から78歳までの高齢者群(以下B群とする)について開眼時と閉眼時に分けて示した。

1. 重心動揺軌跡距離

信頼限界上限は60歳未満で最大値を示したものは開眼 887 mm、閉眼 1840 mm で、60歳以上の開眼 1475 mm、閉眼 2075 mm より小さかった。60歳以上の平均値に対してその差が有意(t検定、P<0.05)に減少した年代は、開眼時において、男性の20、30、40歳代、女性の30、40歳代であった。閉眼時においては、男性の20、40歳代、女性の30歳代で有意に減少した(表1)。

2. 動揺面積

信頼限界上限は60歳未満で最大は、開眼 466 mm²、閉眼 1051 mm²であり、60歳以上では、それぞれ、534

† Study on Stabilometry in Normal Upright Standing —the Change depending on Age-grade—

* Kazunori Yagi, Akito Fujino, Kohji Tokumasu, Kiyoko Iho, Satoshi Yoneda

* 北里大学医学部耳鼻咽喉科学教室

表1 正常者の重心動揺軌跡距離

group	age	sex	eye	mm	500	1000	1500	2000	mean	SD	N	XU
1	20-	M	op						598	159.3	31	873
2			cl						829	249.1	31	1259
3	29	F	op						580	173.0	40	878
4			cl						875	249.0	40	1303
5	30-	M	op						617	156.9	37	887
6			cl						1087	438.1	37	1840
7	39	F	op						481	82.6	16	630
8			cl						793	209.8	16	1172
9	40-	M	op						576	132.2	63	799
10			cl						1008	371.8	63	1634
11	49	F	op						517	128.0	38	737
12			cl						850	283.6	38	1337
13	50-	M	op						665	125.7	31	882
14			cl						1058	286.2	31	1551
15	59	F	op						605	122.5	13	832
16			cl						912	283.7	13	1436
17	60-	M	op						784	392.9	22	1475
18			cl						1228	481.7	22	2075
19	20	F	op						647	137.1	9	916
20			cl						1008	354.8	9	1703

年齢 (age), 性別 (M: 男, F: 女), 開眼 (op), 閉眼 (cl), 平均値 (mean), 標準偏差 (SD), 例数 (N), 95%信頼限界上限 (XU), 単位 mm

表2 正常者の動揺面積

group	age	sex	eye	sq mm	240	480	720	960	mean	SD	N	XU
1	20-	M	op						205	92.5	31	365
2			cl						351	194.5	31	686
3	29	F	op						220	100.4	40	392
4			cl						383	197.1	40	722
5	30-	M	op						257	92.1	37	416
6			cl						505	317.7	37	1051
7	39	F	op						186	64.8	16	303
8			cl						355	203.5	16	723
9	40-	M	op						235	92.1	63	390
10			cl						485	316.7	63	1018
11	49	F	op						223	110.9	38	413
12			cl						369	228.9	38	763
13	50-	M	op						280	106.6	31	464
14			cl						502	248.5	31	930
15	59	F	op						227	129.7	13	466
16			cl						448	175.9	13	774
17	60-	M	op						303	131.8	22	534
18			cl						507	260.2	22	965
19	20	F	op						246	131.9	9	505
20			cl						389	184.3	9	750

年齢 (age), 性別 (M: 男, F: 女), 開眼 (op), 閉眼 (cl), 平均値 (mean), 標準偏差 (SD), 例数 (N), 95%信頼限界上限 (XU), 単位 mm²

mm², 965 mm² であった。また, 60歳以上の平均値に対して男性では開眼時に20, 40歳代, 閉眼時に20歳代で有意に (t 検定, $P < 0.05$) 減少したが, 女性では開閉眼とも有意差はみられなかった (表2)。

3. 左右方向動揺最大幅

信頼限界上限は60歳未満では開眼最大 35.4 mm, 閉眼最大 49.0 mm で, 60歳以上では, それぞれ, 35.6 mm, 52.5 mm であった (表3)。

表 3 正常者の左右方向動揺最大幅

group	age	sex	eye	mm	14	28	42	56	mean	SD	N	XU
1		M	op						22	5.6	31	31
2	20-		cl						26	7.9	31	40
3	29	F	op						22	6.4	40	33
4			cl						28	8.2	40	42
5		M	op						23	5.8	37	33
6	30-		cl						30	10.0	37	47
7	39	F	op						25	5.5	16	35
8			cl						27	9.5	16	44
9		M	op						22	6.2	63	32
10	40-		cl						31	10.5	63	48
11	49	F	op						23	7.0	38	35
12			cl						28	6.9	38	40
13		M	op						24	6.4	31	35
14	50-		cl						33	9.5	31	49
15	59	F	op						25	5.1	13	35
16			cl						33	8.5	13	48
17		M	op						24	6.8	22	36
18	60-		cl						33	11.0	22	52
19		F	op						24	5.2	9	34
20			cl						29	6.8	9	43

年齢 (age), 性別 (M: 男, F: 女), 開眼 (op), 閉眼 (cl), 平均値 (mean), 標準偏差 (SD), 例数 (N), 95%信頼限界上限 (XU), 単位 mm

表 4 正常者の前後方向動揺最大幅

group	age	sex	eye	mm	14	28	42	56	mean	SD	N	XU
1		M	op						22	8.0	31	36
2	20-		cl						29	9.0	31	44
3	29	F	op						23	5.8	40	33
4			cl						29	8.1	40	43
5		M	op						26	7.5	37	39
6	30-		cl						35	13.1	37	57
7	39	F	op						25	6.4	16	37
8			cl						30	12.5	16	53
9		M	op						26	7.1	63	37
10	40-		cl						33	11.5	63	52
11	49	F	op						23	7.7	38	36
12			cl						29	9.7	38	45
13		M	op						28	7.8	31	42
14	50-		cl						33	7.6	31	46
15	59	F	op						28	9.3	13	45
16			cl						33	9.2	13	50
17		M	op						27	9.0	22	43
18	60-		cl						32	8.8	22	48
19		F	op						25	6.5	9	37
20			cl						29	6.5	9	42

年齢 (age), 性別 (M: 男, F: 女), 開眼 (op), 閉眼 (cl), 平均値 (mean), 標準偏差 (SD), 例数 (N), 95%信頼限界上限 (XU), 単位 mm

4. 前後方向動揺最大幅

上限は60歳未満では開眼最大 45.0 mm, 閉眼最大 57.2 mm で, 60歳以上では, それぞれ, 42.8 mm, 47.8 mm であった (表 4)。

5. 周波数分析

開眼, 閉眼問わず動揺の左右方向, 前後方向共低い周波数側で高齢者は青壮年に比して, 振幅スペクトラム値の増加を示した (図 1, 図 2, 図 3, 図 4)。

上段 (L-R); 左右方向の動揺 下段 (A-P); 前後方向の動揺 校正, 5 Nm
 図1 ロンベルグ姿勢の重心動揺図と振幅スペクトラム (正常被検者30歳男性, 開眼時)

上段 (L-R); 左右方向の動揺 下段 (A-P); 前後方向の動揺 校正, 5 Nm
 図2 ロンベルグ姿勢の重心動揺図と振幅スペクトラム (正常被検者30歳男性, 閉眼時)

上段 (L-R); 左右方向の動揺 下段 (A-P); 前後方向の動揺 較正, 5 Nm
 図3 ロンベルグ姿勢の重心動揺図と振幅スペクトラム (正常被検者73歳男性, 開眼時)

上段 (L-R); 左右方向の動揺 下段 (A-P); 前後方向の動揺 較正, 5 Nm
 図4 ロンベルグ姿勢の重心動揺図と振幅スペクトラム (正常被検者73歳男性, 閉眼時)

表5 左右方向の動揺における各周波数帯域での百分率の平均値と標準偏差 (*P<0.01)

周波数 (Hz)		<0.5	1	2	3	4	5	5-10
開眼	A 群	51 (5)	14 (3)	12 (4)	5 (1)	3 (1)	3 (1)	12 (3)
	B 群	60* (10)	16 (4)	12 (3)	4 (2)	2* (1)	2* (1)	4* (2)
閉眼	A 群	52 (5)	15 (3)	14 (2)	5 (1)	3 (1)	2 (0)	9 (2)
	B 群	53 (7)	17 (4)	15 (3)	5 (2)	3 (1)	2 (1)	5* (2)

A 群は青壮年者 (50歳未満20名) B 群は高齢者 (65歳以上10名)
数値は平均値, ()内は標準偏差 10 Hz までの総振幅値に対する各周波数帯域の振幅和の百分率%を示す。

表6 前後方向の動揺における各周波数帯域での百分率の平均値と標準偏差 (*P<0.01)

周波数 (Hz)		<0.5	1	2	3	4	5	5-10
開眼	A 群	57 (8)	10 (3)	9 (2)	4 (1)	3 (1)	3 (1)	14 (3)
	B 群	58 (13)	14* (4)	12 (5)	5 (2)	3 (1)	2* (1)	6* (3)
閉眼	A 群	55 (10)	14 (5)	11 (4)	4 (1)	3 (1)	3 (1)	10 (2)
	B 群	51 (13)	16 (5)	15* (5)	6* (2)	3 (2)	3 (2)	6* (4)

A 群は青壮年者 (50歳未満20名) B 群は高齢者 (65歳以上10名)
数値は平均値, ()内は標準偏差 10 Hz までの総振幅値に対する各周波数帯域の振幅和の百分率%を示す。

左右方向の動揺において, 高齢者のB群は青壮年のA群に比して, 開眼時においては, 0.5 Hz 未満での増大, 3-4 Hz, 4-5 Hz, 5-10 Hz での減少を認め, 閉眼時においては, 5-10 Hz での減少を認めた (t 検定, $p < 0.01$) (表5)。

前後方向の動揺においては, B群はA群に比べ, 開眼時においては, 0.5-1 Hz での増大, 4-5 Hz, 5-10 Hz での減少を認め, 閉眼時においては, 1-2 Hz, 2-3 Hz での増大, 5-10 Hz での減少を認めた (t 検定, $p < 0.01$) (表6)。

考 案

重心動揺検査で得られた測定値の正常域を定める場合, 検査条件の基準化が必要であり, 今回, 日本平衡神経学会で推薦する標準的検査方法に従って検査を実施した。また, 重心動揺記録の評価については, X-Y 記録図の前後径, 左右径, できれば面積を計測するとされている。面積はプランメータの測定を標準とするとし, 我々はこれらの基準に従った¹⁾。動揺の大きさについて, 動揺軌跡距離もあわせて計測した。

田近⁴⁾は, 軌跡長について年齢, 性別に有意差はみられなかったと報告しているが, 面積, 軌跡距離の平均値は, 60歳以上に対して60歳未満のいくつかの年齢群で開閉眼とも有意に減少し, それは閉眼時より開眼時に多く, 女性より男性に多かった。これらの年齢差や性差は, 日常生活様式や神経筋機能の働きの違いなどに起因

するのではないかと推定された。面積, 軌跡距離, 左右及び前後方向動揺について, いずれも開閉眼差が認められた。性差については, 20歳代では女性は男性より大きな値を示したが, 高齢になるにしたがい男性では増加がみられ, 女性は変化が減少し, 60歳以上では女性より男性が大きくなり逆転するにいたっている。池上⁵⁾は, 末梢前庭障害者では閉眼時の左右方向の動揺振幅は, 正常者よりも大きいとし, 正常者について山本⁶⁾は, 閉眼時, 加齢とともに前後方向よりも左右方向動揺が増加するとし, 五島⁷⁾は, 左右方向において70歳以上が有意に大きいと報告しているが, 今回我々が行った正常者の結果も同様であった。

周波数分析については, 10 Hz まで必要か否かは現在決定されていない¹⁾が, 18歳から49歳における群 (A群)と65歳から78歳における群 (B群)を比較したところ, B群はA群に比し, 前後方向, 左右方向の動揺において, 2 Hz まででの増大, 5-10 Hz での減少の傾向がみられ, 高齢者では, 開閉眼時とも低周波数成分の増大, 高周波数成分の減少が認められた。立直り反射には迷路, 視器, 自己受容器などの受容器と大脳, 小脳, 脳幹の中樞神経系ならびに骨格筋の運動系が関与している⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。高齢者で得られた直立時の特徴が, 小脳協調運動の障害, 脊髄反射の障害, 筋力の低下, 筋緊張の変化等のいずれが関与しているかについては, 今後検討してゆきたい。

結 論

1. 正常被検者 300 名のロンベルグ姿勢開閉限 1 分間の直立時重心動揺検査を行い、年代別、性別に重心動揺軌跡距離、動揺面積、左右方向および前後方向動揺最大幅の95%信頼限界上限を求めた。

2. 50歳未満の青壮年20名(A群)と65歳以上の高齢者10名(B群)について周波数分析を行い、前後方向、左右方向の動揺のいづれにおいてもB群はA群に対して、2 Hz までの増大、5-10 Hz での減少の傾向が認められた。

本論文の要旨は、第43回日本平衡神経科学会総会、昭和60年ワークショップ(平衡機能検査法の基準化並びに診断学的貢献度)において発表した。

文 献

- 1) 日本平衡神経科学会 “平衡機能検査の標準化検討委員会”: 重心動揺検査の基準. *Equilibrium Res* 42: 367-369, 1983
- 2) 伊保清子, 他: ヒト直立時重心動揺記録図の圍繞面積と矩形面積との相関. *Equilibrium Res* 44: 171-175, 1985
- 3) 米田 敏, 徳増厚二: 正常人の直立時重心動揺の周波数分析 (1) 一視覚・足底支持面の影響. *Equilibrium Res* 41: 55-60, 1982
- 4) 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(1): 122-137, 1979
- 5) 池上彰博: 直立時重心動揺の振幅と速度の研究一年齢変化と診断的意義. *日耳鼻* 86: 886-898, 1983
- 6) 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
- 7) 五島桂子: 重心動揺検査の検討—コンピュータ分析における検査項目と正常域. *Equilibrium Res* 45: 368-387, 1986
- 8) 時田 喬, 他: 頭部並びに重心動揺記録計による立直り反射検査. *耳鼻臨床* 65: 443-456, 1972

- 9) 長山郁生: 重心動揺計による身体偏位の観察. *耳鼻臨床* 76: 197-222, 1983
- 10) Watanabe I, et al: The role of the plantar mechanoreceptor in equilibrium control ANN N Y ACAD SCI 374: 855-864, 1981

Abstract

Stabilometry has recently become recognized as a useful way to evaluate human standing ability. However, the clinical evaluation of each parameter and its normal range in different age groups have not yet been determined.

The test, which was recommended by the Japan Equilibrium Research Association in 1983, was applied to 300 normal subjects in this study. Each subject was asked to stand in Romberg's posture on a force plate for one minute with eyes open and for one minute with eyes closed. The mean values, their standard deviations and the upper limits of the normal ranges of total length of movement of the center of gravity, sway area and maximum width of lateral and antero-posterior body sway, were obtained in male and female subjects of different ages.

It was statistically confirmed that the mean values in those over 60 years of age were larger than the values in younger groups. The frequency analysis of body sway showed a tendency towards increased amplitude in the frequency range less than 2 Hz and decreased amplitude in the frequency range between 5 and 10 Hz in the older group.

(原稿到着: 昭和62年 5 月11日
別刷請求先: 八木一記
〒228 神奈川県相模原市北里1-15-1
北里大学医学部耳鼻咽喉科学教室)