小児の重心動揺および頭部動揺の年齢的変動†

坂 口 正 範

緒 言

近年、小児の身体平衡機能の発達を重心動揺を指標として定量的に評価しようとする研究^{1)~8)}が盛んになったが、体平衡の評価にあたっては単に重心動揺の測定のみにとどまらず、頭部動揺をも含めた総合的な解析が望ましいと思われる。成人については重心動揺と頭部動揺を定量的に解析した研究^{9)~14)}がいくつかみられるが、小児において頭部動揺の意義、その年齢的変動、重心動揺との相関を検討した研究はほとんどない。

本研究では、小児の身体平衡機能の発達とその特徴、ならびに直立起立姿勢保持における視覚制御系の役割を明らかにするために、開眼時、閉眼時の重心動揺と頭部動揺をいくつかの要素に分けて定量的に検討した。

方 法

1. 被検者

耳疾患、視力障害、四肢・軀幹の運動障害を有さない

健康な男女のうち、Romberg 検査、Mann 検査、単脚直立検査が柳田¹⁵⁾の正常域の基準を満たす者 126 名を被検者とした。その内訳は表 1 に示したごとく 4~6 歳の幼稚園児 21 名、7~9 歳の小学校低学年児童 21 名、10~12 歳の小学校高学年児童 21 名、13~15 歳の中学生 21 名、16~18 歳の高校生 21 名、対照として 20~28 歳の成人 21 名である。

2. 装置

図 1 に研究装置のブロックダイアグラムを示した。重心動揺計（日本電気三栄 1G06 型）からの出力はデータレコーダ（TEAC R280）に内蔵されている増幅器を用いて増幅した後、増幅された出力を X 軸成分と Y 軸成分に分け、on-line でテクニカルコンピュータ（TEAC PS-9000）に入力した。また頭部変位検出装置（第一医科製の特注品）からの出力も、X 軸成分と Y 軸成分に分け、それぞれ利得を調整して on-line でコンピュータ

表 1 被検者の性別および年齢構成

	4~6 歳	7~9 歳	10~12 歳	13~15 歳	16~18 歳	20~28 歳	計
男 性	8	14	13	10	9	12	66
女 性	13	7	8	11	12	9	60
計	21	21	21	21	21	21	126

図 1 研究装置のブロックダイアグラム

†Chronological Changes in Movements of the Head and the Body's Center of Gravity of Children

Masanori Sakaguchi

信州大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：田口喜一郎教授）

—身体動揺の研究 第28報—

図2 重心動揺および頭部動揺軌跡図
左側に23歳女性例, 右側に6歳男性例を示す。

に入力した。A/D 変換の分解能は12ビット, サンプル時間は0.05秒とした。

3. 測定方法

被検者を図1のように重心動揺計の検出台上に両足内側縁を接して起立させ, 頭部に検査用の帽子を装着し, これを伸縮可能な棒で頭部動揺計と接続した。身長による補正を加えるため帽子と動揺計の距離は一定(50cm)とした。測定は検出台上で被検者の身体動揺が安定したと認められる時点から開始し, 眼前1.5mにおいた白色スクリーン中央の5×5cm大の黒色十字標識を注視させた時(以下開眼時と略す), および閉眼時の60秒間の重心動揺と頭部動揺を測定した。測定は開眼と閉眼の条件でそれぞれ3回ずつ行った。

4. 解析方法

コンピュータに記録されたデータをBASIC言語で書かれたプログラム(LABO-AID)を用いて頭部動揺, 重心動揺のそれぞれについて下記の項目について分析した。なお分析に先立ってCRT画面上に頭部動揺記録, 重心動揺記録をX-Yプロットして(図2), 3回の測定のうちで最小の動揺軌跡図を示すデータを分析のために採用した。

1) 軌跡距離

60秒間の頭部, 重心の移動距離(L)はX軸成分(x_t)とY軸成分(y_t)を基にして下記の式を用いて算出した。

$$L = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{t+1} - x_t)^2 + (y_{t+1} - y_t)^2}$$

2) 動揺面積

60秒間の動揺軌跡図の最大左右径と最大前後径の積を

算出し, 動揺面積とした。

3) Y軸(y_t)・X軸(x_t)成分比

下記の式を用いて算出した。

$$L_y / L_x = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{t+1} - y_t|}{\sum_{i=1}^n |x_{t+1} - x_t|}$$

4) 8方向別動揺速度

動揺方向を前方, 右前方, 右方, 右後方, 後方, 左後方, 左方, 左前方の8つの方向に分け, それぞれの方向別に60秒間の平均速度を求めた。

5) 動揺周波数

頭部動揺および重心動揺のX軸成分とY軸成分の周波数スペクトルを高速フーリエ変換を用いて分析し, 田口ら¹⁶⁾の方法にしたがって下記の式により平均周波数(F)を算出した。なおこの時の周波数分解能は0.0195Hzであった。

$$F = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=a}^b A_n \cdot f_n$$

$a \sim b$: Fを求めようとする周波数帯域

$A_n \cdot f_n$: ある周波数における相対振幅とその周波数の積

N : $a \sim b$ 間の相対頻度

以上の項目について各年齢群ごとに平均値と標準偏差を算出するとともに, 軌跡距離, 動揺面積における頭部動揺と重心動揺の比ならびに開眼と閉眼の比についても平均値と標準偏差を算出し, t検定を用いて統計学的検討を行い, 危険率5%にて有意差があると判定した。

結 果

1. 軌跡距離

図3に示したように頭部動揺軌跡距離、重心動揺軌跡距離はいずれも年齢が増すにつれて減少し、閉眼時、閉眼時とも13～15歳群で成人群と有意差を認めなくなった。

またいずれの年齢群においても頭部動揺軌跡距離は重心動揺軌跡距離よりも小さいこと、および閉眼時には頭部動揺、重心動揺とも開眼時に比べて軌跡距離が増大することが明らかであった。

2. 動揺面積

図4に示したように頭部動揺面積、重心動揺面積はいずれも年齢が増すにつれて減少し、開眼時、閉眼時とも13～15歳群で成人群と有意差を認めなくなった。

またいずれの年齢群においても閉眼時には頭部動揺、重心動揺とも開眼時に比べて動揺面積が増大することが明らかであった。

3. Y軸・X軸成分比

図5に示したように頭部動揺量のY軸・X軸成分比はいずれの年齢群においても重心動揺量のY軸・X軸成分比よりも大きく、開眼時の平均値は1.15～1.33、閉眼時の平均値は1.15～1.25の間にあり、各年齢群とも成人群と有意差を認めなかった。

一方重心動揺量のY軸・X軸成分比は年齢が増すにつ

れて減少し、10～12歳群で成人群と有意差を認めなくなった。

図4 重心動揺面積および頭部動揺面積の平均値と標準偏差

図3 重心動揺軌跡距離および頭部動揺軌跡距離の平均値と標準偏差

図5 重心動揺量のY軸・X軸成分比および頭部動揺量のY軸・X軸成分比の平均値と標準偏差

すなわち頭部動揺が重心動揺に比べて前後方向への揺れが大きいという点では小児と成人の間に有意差はないが、7～9歳以下の小児の重心動揺は成人に比べて有意に前後方向の動揺が大きいことが示された。

4. 8方向別動揺速度

前方、右前方、右方、右後方、後方、左後方、左方、左前方の8方向の頭部動揺速度と重心動揺速度の平均値を図6に示した。開眼時、閉眼時の頭部動揺速度および重心動揺速度は8方向のいずれにおいても、10～12歳以下の年齢群では成人群より有意に大きく、一方13～15歳以上の年齢群では成人群と有意差を認めなかった。

なおいずれの年齢群においても各8方向の頭部動揺速度は重心動揺速度よりも小さいことが明らかであった。

5. 動揺周波数

頭部動揺、重心動揺とも周波数スペクトルの主体は1 Hz以下にあったので、1 Hz以下の周波数帯域における平均周波数を算出した。

1) X軸成分

図7に示したように頭部動揺、重心動揺のX軸成分の平均周波数は年齢が増すにつれて減少し、閉眼時重心動揺では10～12歳以上の年齢群で、開眼時頭部動揺では13～15歳以上の年齢群で、閉眼時頭部動揺では10～12歳以

図6 8方向別重心動揺速度および8方向別頭部動揺速度の平均値

上の年齢群で、それぞれ成人群と有意差を認めなくなった。開眼時の重心動揺ではいずれの年齢群でも成人群と

図7 重心動揺および頭部動揺のX軸成分平均周波数(0.0195～1.00 Hz)の平均値と標準偏差

図8 重心動揺および頭部動揺のY軸成分平均周波数(0.0195～1.00 Hz)の平均値と標準偏差

有意差を認めなかった。

なおいずれの年齢群においても頭部動揺の平均周波数

は重心動揺の平均周波数よりも小さいことが明らかであった。

図9 頭部動揺・重心動揺軌跡距離比の平均値と標準偏差

図11 重心動揺および頭部動揺軌跡距離の閉眼・開眼比の平均値と標準偏差

図10 頭部動揺・重心動揺面積比の平均値と標準偏差

図12 重心動揺および頭部動揺面積の閉眼・開眼比の平均値と標準偏差

2) Y軸成分

図8に示したように頭部動揺、重心動揺のY軸成分の平均周波数は年齢が増すにつれて減少し、開眼時重心動揺では7～9歳以上の年齢群で、閉眼時重心動揺では10～12歳以上の年齢群で、開眼時頭部動揺では10～12歳以上の年齢群で、閉眼時頭部動揺では13～15歳以上の年齢群で、それぞれ成人群と有意差を認めなくなった。

なおいずれの年齢群においても頭部動揺の平均周波数は重心動揺の平均周波数よりも小さいことが明らかであった。

6. 頭部動揺・重心動揺軌跡距離比

図9に示したように重心動揺軌跡距離に対する頭部動揺軌跡距離の比は年齢が増すにつれて減少し、開眼時、閉眼時とも10～12歳以上の年齢群で成人群と有意差を認

めなくなった。

7. 頭部動揺・重心動揺面積比

図10に示したように重心動揺面積に対する頭部動揺面積の比は年齢による変動が明らかではなく、開眼時に7～9歳群が成人群より有意に大きい値を示したほかは、各年齢群とも成人群と有意差を認めなかった。

8. 閉眼・開眼比

1) 軌跡距離

図11に示したように開眼時の軌跡距離に対する閉眼時の軌跡距離の比は頭部動揺、重心動揺ともに年齢による変動が明らかではなく、いずれの年齢群においても成人群との間に有意差を認めなかった。

2) 動揺面積

図12に示したように開眼時の動揺面積に対する閉眼時

表2 成人群を基準にした小児各年齢群の平均値の検討

+: 成人群と有意差を認めるもの (危険率5%)

-: 成人群と有意差を認めないもの (危険率5%)

		4～6歳	7～9歳	10～12歳	13～15歳	16～18歳
重心動揺軌跡距離	開眼	+	+	+	-	-
	閉眼	+	+	+	-	-
頭部動揺軌跡距離	開眼	+	+	+	-	-
	閉眼	+	+	+	-	-
重心動揺面積	開眼	+	+	+	-	-
	閉眼	+	+	+	-	-
頭部動揺面積	開眼	+	+	+	-	-
	閉眼	+	+	+	-	-
重心動揺量のY軸・X軸成分比	開眼	+	+	-	-	-
	閉眼	+	+	-	-	-
頭部動揺量のY軸・X軸成分比	開眼	-	-	-	-	-
	閉眼	-	-	-	-	-
重心動揺平均周波数 (X軸成分)	開眼	-	-	-	-	-
	閉眼	+	+	-	-	-
頭部動揺平均周波数 (X軸成分)	開眼	+	+	+	-	-
	閉眼	+	+	-	-	-
重心動揺平均周波数 (Y軸成分)	開眼	+	-	-	-	-
	閉眼	+	+	-	-	-
頭部動揺平均周波数 (Y軸成分)	開眼	+	+	-	-	-
	閉眼	+	+	+	-	-
頭部動揺・重心動揺軌跡距離比	開眼	+	+	-	-	-
	閉眼	+	+	-	-	-
頭部動揺・重心動揺面積比	開眼	-	+	-	-	-
	閉眼	-	-	-	-	-
閉眼・開眼比	重心動揺軌跡距離	-	-	-	-	-
	頭部動揺軌跡距離	-	-	-	-	-
	重心動揺面積	+	-	-	-	-
	頭部動揺面積	-	-	-	-	-

の動揺面積の比は年齢による変動が明らかではなく、4～6歳群の重心動揺面積の閉眼・開眼比が成人群より有意に大きかったほかは、頭部動揺、重心動揺ともに、いずれの年齢群も成人群との間に有意差を認めなかった。

以上のそれぞれのパラメータについて、各年齢群の平均値と成人群の平均値を比較検討した結果をまとめると表2のごとくである。

考 察

1. 重心動揺と頭部動揺の関係

直立起立姿勢では身体は足関節を支点として逆振り inverted pendulum のような動きをするという考え方^{17)~19)}もあるが、ヒトの身体は頭部、軀幹、四肢といった多くの分節から成っており、それぞれの分節にも、またそれらが集まった系にもそれぞれの重心が定められ、それらの重心が総合されて全身の重心が決定されること²⁰⁾を考慮すると、身体動揺を単純な逆振り子としてとらえることは無理があるように思われる。事実モデル実験においても足関節にのみ可動性を有する single-link inverted pendulum model は実際の身体の動きと最も異なっており、足関節、膝関節、股関節、頸部での可動性を有する multi-link inverted pendulum model は実際の身体の動きに最も類似していたという報告²¹⁾²²⁾がある。また身体の平衡は足関節のトルクの調節のみによって保たれているのではなく、腰部、頭部の動きを含めた全身的な動きによって調整され、平衡が保持されていることが種々の実験^{23)~25)}によって確認されている。さらに現在普及している重心動揺計は足圧の垂直作用力の中心位置を検出する装置である²⁶⁾ため、これによって得られた記録がはたして真の重心の動きを反映しているのかどうかという批判²⁵⁾²⁷⁾もあることを考慮すると、身体動揺を単に重心動揺計を用いた測定のみで評価するのは不十分であると考えられる。

成人の重心動揺と頭部動揺を定量的に解析した研究^{9)~14)}では、頭部動揺軌跡距離は重心動揺軌跡距離よりもやや小さい^{9)~11)}か、ほぼ同じ¹⁴⁾であること、頭部動揺面積は重心動揺面積の約2倍であること¹²⁾¹³⁾、頭部動揺は重心動揺に比べて遅い周波数成分が優勢であること¹⁰⁾¹¹⁾²⁸⁾などが明らかにされている。著者の研究でも成人群の頭部動揺・重心動揺軌跡距離比の平均値は開眼時0.66、閉眼時0.67、頭部動揺・重心動揺面積比の平均値は開眼時1.81、閉眼時1.98であり、また頭部動揺の1 Hz以下の平均周波数はX軸成分、Y軸成分とも重心動揺の平均周波数よりも小さな値を示した。これらの成績は前記の報告^{9)~13)}に一致する。また面積においては頭部動揺が重心動揺よりも大きい一方、軌跡距離においては頭部動揺が重心動揺よりも小さいという事実は、図2か

らも明らかなように軌跡密度の差から生じており、これは頭部動揺と重心動揺の動揺速度の違い、周波数スペクトルの違いに由来するものと考えられる。

時田ら²⁸⁾は頭部動揺と重心動揺の相関分析を行い、直立起立時の身体動揺には緩徐な動揺(2秒に1つよりも遅いもの)と速い動揺(約1秒に1つあるいはそれよりも速いもの)があり、緩徐な動揺は頭部に、速い動揺は重心によく現れることを観察した。そして緩徐な動揺は主として迷路性の立直りを示し、速い動揺は筋の自己受容器からの立直りを示していると推論した。すなわち頭部の立直り運動には迷路性立直り反射が主役を演じている²⁹⁾と考えることができる。一方身体を安定に保つためには人体下部に生じた速い動きがそれより上部の関節の弾性と彎曲性によって吸収され、前庭系が高い周波数の動揺の影響を受けにくくなっている方が好都合であると考えられる¹⁸⁾²⁸⁾。したがって田口¹⁰⁾の述べるごとく合目的的に考えた場合、前庭および脳を保有する頭部が最も少ない動きを示すことは合理的であり、その目的のために重心が細かく速く動いて、頭部の安定、注視の維持という重要な制御機能を発揮していると考えられる。このような推論により軌跡距離、動揺速度、平均周波数において頭部動揺が重心動揺よりも小さいという著者の実験成績は説明が可能と思われる。

2. 小児の身体動揺の特徴

成人と比較して小児の重心動揺がより大きいことは多くの研究者^{1)~8)}が報告している。具体的には重心動揺軌跡距離、重心動揺面積は年齢が増すにつれて減少し、およそ10～15歳で成人と有意差がなくなるとした報告^{2)5)~7)}が多い。本研究でも重心動揺軌跡距離、重心動揺面積は10～12歳以下の年齢群では成人群より有意に大きく、13～15歳以上の年齢群で成人群と有意差がなくなった。成人に比べて小児の重心動揺が大きい理由としてHellebrandtら¹⁾は、1)神経の髄鞘化がまだ完成しておらず、神経学的に発達が不十分であること、2)下肢の発育が不十分で重心が相対的に高い位置にあること、3)抗重力筋の発育が不十分で筋力が弱いこと、4)精神的に落ち着きがないことなどを考慮している。

一方頭部動揺においては小児と成人との相違を定量的に検討した研究⁴⁾³⁰⁾は少なく、頭部動揺の年齢的推移についてはほとんど明らかにされていない。著者は本研究において頭部動揺も重心動揺と同様の年齢的变化を示すことを認めた。すなわち頭部動揺軌跡距離、頭部動揺面積は10～12歳以下の年齢群では成人群より有意に大きい一方、13～15歳以上の年齢群では成人群と有意差が認められなかった。さらに注目すべきことは7～9歳以下の小児においては単に頭部動揺軌跡距離が成人に比べて大

きだけでなく、重心動揺軌跡距離に対する頭部動揺軌跡距離の比が成人より有意に大きいことがわかった。

宇野³⁰⁾、小山ら⁴⁾も小児では成人に比べて頭部動揺が大きく、また重心動揺に対する頭部動揺の割合が大きいことを報告しているが著者の成績もこれに一致する。その理由として小山ら⁴⁾は視器、迷路、頸反射の姿勢調節への関与の仕方が小児と成人では異なるためと推察し、また宇野³⁰⁾は小児では一定の重心偏倚を元に戻すために、より大きな迷路刺激を必要とするためと考えた。この点に関して道下³¹⁾³²⁾は温度眼振、回転後眼振を指標とした場合、小児の前庭反応は10歳を過ぎると安定した様相を呈し徐々に成人値に近づくことを報告しており、この報告³¹⁾³²⁾は宇野³⁰⁾の推論を支持するとともに、頭部動揺・重心動揺軌跡距離比が10～12歳以上の年齢群で成人群と有意差がなくなるという著者の成績にもよく一致するものと考えられる。

3. 小児と成人の動揺の比較

成人の重心動揺では左右動揺径より前後動揺径が大きい^{12)~14)}、Y軸成分、X軸成分の軌跡距離の比較³³⁾³⁴⁾と方向別動揺速度の比較³⁵⁾³⁶⁾から重心は前後方向より左右方向に速く動揺していることが知られている。また成人の頭部動揺については前後径、左右径の比較¹²⁾¹³⁾、Y軸・X軸成分比の検討¹⁰⁾¹¹⁾から前後方向の動揺が大きいことが知られている。

一方小児の重心動揺については動揺速度⁷⁾³⁷⁾、Y軸・X軸成分比³⁷⁾の検討から左右動揺より前後動揺が大きいことが明らかにされているが、小児の頭部動揺の性質(特徴)についてはほとんど研究がなされていない。

今回の研究において小児の頭部動揺、重心動揺平均周波数はX軸成分、Y軸成分とも年齢が増すにつれて減少し、およそ10～12歳で成人と有意差のなくなることが示された。また頭部、重心の8方向別動揺速度の分析でも同様の年齢的変動が観察された。これらの結果は小児では頭部、重心がいずれも成人に比べて速く動揺していることを示している。一方Y軸・X軸成分比の分析では、頭部動揺量のY軸・X軸成分比は小児と成人の間に有意差を認めず、その平均値は全年齢群を通じて1.15～1.33の間にあったが、重心動揺量のY軸・X軸成分比は7～9歳以下の年齢群では成人群に比べて有意に大きな値を示した。すなわち頭部動揺は重心動揺に比べて前後方向への揺れが大きいという点で小児と成人の間に差は認められない一方、重心動揺は小児では前後方向の揺れが大きく、成人では左右方向の揺れが大きいことが示唆された。

4. 小児の身体平衡における視覚制御系の役割

小児の起立姿勢保持において視覚制御系がどのような

役割をはたしているかについて詳細に論じた報告は少ない。柳田⁷⁾は重心動揺軌跡距離、動揺面積、動揺速度などの開眼閉眼差が幼稚園児と小学校低学年児童において大きいことを報告し、小児の直立には視覚からの姿勢制御系の働きが大きいことを示唆しているが、統計学的検定はなされていない。またLeeら³⁸⁾³⁹⁾は幼児の直立において視覚情報入力に機械的末梢自己受容器からの情報入力よりも大切であり、固有自己受容器の機能の発達には視覚固有感覚の先導のもとで調整されていくことを示唆している。

一方平林ら⁵⁾は重心動揺軌跡距離および重心動揺面積の閉眼・開眼比を求めたところ各年齢群とも有意差はなかったと述べている。

著者の成績も平林ら⁵⁾の成績と同様、4～6歳群の重心動揺面積を除いて、各年齢群の重心動揺軌跡距離および動揺面積の閉眼・開眼比は成人群と有意差を示さなかった。また頭部動揺においても軌跡距離、動揺面積の閉眼・開眼比は各年齢群とも成人群との間に有意差を示さなかった。したがって閉眼により小児、成人とも重心動揺、頭部動揺は増大するが、その程度はほぼ等しく、小児においても身体平衡保持において視覚制御系のはたす役割は成人の場合と同等であることが示唆された。

ところで著者は先に外乱として視運動刺激を与えた場合の重心動揺の応答が8～10歳の年齢群と12～14歳以上の年齢群で異なり、10歳以下の小児は成人に比べて視運動刺激の影響をより強く受けることを報告した³⁷⁾。その成績と今回の研究成績は一見矛盾するようであるが、視覚は身体平衡の保持に重要な役割をはたしており、一方視運動刺激のような過度の視覚刺激は逆に身体平衡を乱し破綻させる⁴⁰⁾と考えた場合、閉眼と視運動刺激は異なったメカニズムで小児の身体動揺に影響をおよぼすことが推測され、興味深いと思われる。この点については今後さらに詳細な検討が必要と考えられる。

結 語

小児の身体平衡機能の特徴と、各年齢における平衡機能の発達の様子を明らかにするために、4～18歳の男女105名、20～28歳の成人21名について、開眼時および閉眼時の重心動揺と頭部動揺を測定し、次の結果を得た。

- 1) 重心動揺および頭部動揺の軌跡距離、動揺面積、8方向別速度はいずれも年齢が増すにつれて減少し、13～15歳の年齢群で成人群と有意差を認めなくなった。
- 2) 重心動揺および頭部動揺の1Hz以下の平均周波数はX軸成分、Y軸成分とも年齢が増すにつれて減少し、およそ10～12歳の年齢群で成人群と有意差を認めなくなった。
- 3) いずれの年齢群でも軌跡距離、8方向別速度、平均

周波数において頭部動揺は重心動揺よりも小さかった。

- 4) 頭部動揺量のY軸・X軸成分比はいずれの年齢群でも成人群と有意差を認めなかったが、重心動揺量のY軸・X軸成分比は7～9歳以下の年齢群では成人群より有意に大きい値を示した。
- 5) 7～9歳以下の年齢群では重心動揺軌跡距離に対する頭部動揺軌跡距離の比は成人群よりも有意に大きい値を示した。
- 6) 頭部動揺および重心動揺の軌跡距離ならびに動揺面積の閉眼・開眼比は各年齢群とも成人群と有意差を認めなかった。

以上から小児は成人に比べて重心動揺、頭部動揺が大きいこと、重心の前後動揺が大きいこと、重心動揺に対する頭部動揺の比率が大きいことが示唆された。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました恩師田口喜一郎教授に深甚なる謝意を捧げます。また研究に助言、協力をいただきました宮下善和先生をはじめ信州大学医学部耳鼻咽喉科学教室の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Hellebrandt FA, Braun GL : The influence of sex and age on the postural sway of man. *Am J Phys Anthropol* 24 : 347-360, 1939
- 2) Hirasawa Y : Study on human standing ability. *Agressologie* 14, C : 37-44, 1973
- 3) 小島幸枝, 竹森節子 : 小児の身体平衡の発達について—正常小児, 起立位を中心に—。耳鼻臨床 73 : 865-871, 1980
- 4) 小山吉明, 藤原勝夫, 池上晴夫 : 幼児の立位姿勢における身体動揺。姿勢研究 2 : 79-85, 1982
- 5) 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
- 6) 山元 暁 : 正常児および脳性麻痺児における立位重心動揺の研究。岐阜大医紀 33 : 822-849, 1985
- 7) 柳田三洋子 : 小児のめまい平衡障害に関する研究—第二編 健康小児の重心動揺—。Equilibrium Res 45 : 332-344, 1986
- 8) Riach CL, Hayes KC : Postural sway in young children. In ed Igarashi M, Black FO. Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. pp 232-236, Karger, Basel, 1985
- 9) Edwards AS : The measurement of static ataxia. *Am J Psychol* 55 : 171-188, 1942
- 10) 田口喜一郎 : 頭部動揺 : その記録と意義。Equilibrium Res 38 : 17-22, 1979
- 11) Taguchi K : Relationship between the head's and the body's center of gravity during normal standing. *Acta Otolaryngol* 90 : 100-105, 1980
- 12) 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記録計による立直り反射検査。耳鼻臨床 65 : 443-456, 1972
- 13) 田口拓雄 : 起立時身体動揺の研究—正常例ならびに迷路障害例を中心に—。耳鼻臨床 70 : 1065-1112, 1977
- 14) 松岡豊彦 : 起立時身体動揺の定量的解析。耳鼻臨床 70 : 1191-1280, 1977
- 15) 柳田三洋子 : 小児のめまい平衡障害に関する研究 第一編 学童検診におけるめまい平衡障害の調査。Equilibrium Res 45 : 175-188, 1986
- 16) 田口喜一郎, 飯島美千穂, 滝沢正臣 : 重心動揺の周波数分析—周波数スペクトルと平均周波数—。耳鼻臨床 70 : 825-831, 1977
- 17) Smith JW : The forces operating at the human ankle joint during standing. *J Anat* 91 : 545-564, 1957
- 18) Kapteyn TS, de Wit G : Posturography as an auxiliary in vestibular investigation. *Acta Otolaryngol* 73 : 104-111, 1972
- 19) 中村隆一, 斉藤 宏 : 基礎運動学。289-309頁, 医歯薬出版, 東京, 1987
- 20) 本間三郎 : 姿勢および運動のメカニズム。問田直幹, 内菌耕二, 伊藤正男, 富田忠雄編。新生理学 (上巻)。993-1040頁, 医学書院, 東京, 1982
- 21) Stockwell CW : Conceptual models of human postural control. In ed Igarashi M, Black FO. Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. pp 22-28, Karger, Basel, 1985
- 22) Barin K, Stockwell CW : A mathematical model of human postural control in the sagittal plane. In ed Igarashi M, Black FO. Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. pp 29-33, Karger, Basel, 1985
- 23) 猪飼道夫 : 直立姿勢の研究。日本生理誌 9 : 197-222, 1944
- 24) Nashner LM : Strategies for organization of human posture. In ed Igarashi M, Black FO. Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. pp 1-8, Karger, Basel, 1985
- 25) Valk-Fai T : Analysis of the dynamical behaviour

- of the body whilst "standing still". *Agressologie* 14, C : 21-25, 1973
- 26) 日本平衡神経科学会：重心動揺計規格. *Equilibrium Res* 42 : 363-366, 1983
 - 27) Roberts TDM, Stenhouse G : The nature of postural sway. *Agressologie* 17, A : 11-14, 1976
 - 28) 時田 喬, 宮田英雄, 藤垣 熙, 永田隆郎, 小林武, 他：直立時の身体動揺の分析—動揺の多現象記録と相関分析による—。耳鼻臨床 63 : 363-387, 1970
 - 29) 時田 喬, 前田正徳, 大橋伸一, 宮田英雄, 正木道憲, 他：迷路性立直り反射の動特性. *Equilibrium Res* 38 : 23-28, 1979
 - 30) 宇野良二：平衡機能の年令的変遷に関する研究—加速度計による身体動揺の観察—。耳鼻臨床 56 : 68-86, 1963
 - 31) 道下和美：正常児の前庭反応に関する研究. *日耳鼻* 70 : 37-60, 1967
 - 32) 道下和美：小児の平衡機能検査法. *耳鼻臨床* 64 : 1056-1060, 1971
 - 33) 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
 - 34) Okubo J, Watanabe I, Takeya T, et al : Influence of foot position and visual field condition in the examination for equilibrium function and sway of the center of gravity in normal persons. *Agressologie* 20, 2 : 127-132, 1979
 - 35) 竹内 聰：重心動揺の偏位と動揺速度の分析. *耳鼻臨床* 75 : 1805-1834, 1982
 - 36) 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 : 2206-2216, 1984
 - 37) 坂口正範：視運動刺激に対する重心動揺の年齢的変動. *信州医誌* 37 : 17-30, 1989
 - 38) Lee DN, Aronson E : Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and Psychophysics* 15 : 529-532, 1974
 - 39) Lee DN, Lishman JR : Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement studies* 1 : 87-95, 1975
 - 40) 福田 精：運動と平衡の反射生理. 72-211頁, 医学書院, 東京, 1981

Abstract

To evaluate quantitatively the development of equilibrium function in children, the author investigated head movement (H. M.) and movement of the body's

center of gravity (M. C. G.) in six agegroups of children and adults, using a cephalograph to record H. M., a strain gauge-platform to record M. C. G., and a technical computer. One hundred twenty-six healthy subjects aged 4 to 28 years were instructed to stand with feet close together on the platform with eyes open and with eyes closed for 60 seconds each.

1. The area and total length of H. M. and M. C. G. decreased with age. They were significantly larger in children younger than 12 years of age than in adults. Changes in the swaying velocities of H. M. and M. C. G. in 8 directions paralleled the area and total length of sway.

2. The averaged divisional frequencies of H. M. and M. C. G. decreased with age both in the lateral component and in the anteroposterior component. They were significantly larger in children younger than 9 years of age than in adults.

3. In all six agegroups the total length, swaying velocities and averaged divisional frequencies of H. M. were smaller than those of M. C. G.

4. The ratio of the anteroposterior component to the lateral component in H. M. did not differ among the agegroups. On the other hand this ratio in M. C. G. was significantly larger in children younger than 9 years of age than in adults.

5. The ratio of the total length of H. M. to that of M. C. G. was significantly larger in children younger than 9 years of age than in adults.

6. The ratio of the area and total length of H. M. and M. C. G. with eyes closed to those with eyes open did not differ among the agegroups.

These results suggest that the body sway of children is not only larger than that of adults, but also different from it in nature. It appears that the ratio of H. M. to M. C. G. is larger in children than in adults, and that the ratio of the anteroposterior component to the lateral component in M. C. G. is also larger in children than in adults.

Key words: movement of the body's center of gravity, head movement, children, chronological changes

(原稿到着：平成1年6月16日
別刷請求先：坂口正範
〒390 長野県松本市旭3-1-1
信州大学医学部耳鼻咽喉科学教室)