



児童の平衡機能の発達について : 重心動揺検査を通して

中林, 稔堯

(Citation)

神戸大学発達科学部研究紀要, 4(2):1-21

(Issue Date)

1997-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81000240>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81000240>



児童の平衡機能の発達について

—— 重心動揺検査を通して ——

中 林 稔 堯*

A Study on The Development of Equilibrium Function in Children

Toshitaka NAKABAYASHI*

I. 問題と目的

人間は直立時においても微少な身体動揺が生じている。その時、中枢神経系は直立姿勢を維持するために末梢受容器から感覚情報を取り入れ統合処理し、抗重力筋を中心とした筋肉系を巧みに調節して身体動揺を最小限に保つように姿勢調節を継続的に行なっている。この一連の感覚運動機能を平衡機能という。直立時における身体動揺量は個人の年齢、精神発達、生活経験、障害などにより影響を受け、個人差がみられることが知られている。

平衡機能を規定する主要因として前庭覚系、視覚系、体性覚系（固有覚系、触覚系）からの感覚情報および中枢神経系の機能があげられ、中枢神経系機能として大脳皮質系の随意的コントロールによる制御、大脳基底核、小脳、脳幹による筋緊張コントロール、そして主に小脳の働きによる四肢・体幹の協同運動機構などが関与している（時田 1990）。

平衡機能には主に2つの様式が存在する。1つは、座位や立位のような比較的固定し安定した姿勢を一定時間維持する場合に行われる様式である。この時、人の身体重心は身体の支持面内に存在し、微細な身体の揺れを最小限に維持しようとする。この時に働く平衡機能はstaticな要素が強いので、静的平衡機能（static equilibrium）と呼ばれている。もう1つは、身体の支持面が狭く不安定な状態で、体幹および四肢の運動によって身体重心を絶えず支持面内に復元する必要がある場合に行われる様式である。この時働く平衡機能は、dynamic な要素が強いので、動的平衡機能（dynamic equilibrium）と呼ばれている。

このように平衡機能には2つの様式がみられるが、人間の平衡機能を基本的に把握するためには、直立姿勢による身体動揺の検査は不可欠とされている。直立動揺の測定、記録、分析方法として、重心動揺計とコンピューターを用いた重心動揺検査が数多く行われるようになった。

これまで重心動揺検査による平衡機能の研究は、主に耳鼻咽喉科領域で進められており、一側迷路障害（五島 1985、時田他 1987）、両側迷路障害（五島 1985、時田他 1987）、小脳障害（五島 1985、時田他 1987）、脳性麻痺（山元 1985）などの障害を持つ児童や成人についての検査結果が報告されている。また、障害児教育の領域からも、視覚障害（中田）、精神遅滞（波多野 1976、緒方 1980）、ダウン症（松崎 1986）、聴覚障害（広畑 1991）などの報告がある。

* 神戸大学発達科学部発達基礎論講座

一方、健常児（者）を対象とした研究では、幼児から成人（小島・竹森 1980、平林・田口 1985 坂口 1989）、成人から高齢者（五島 1986）、高齢者（竹森・森山 1992）をそれぞれ対象とし、平衡機能の発達と加齢を検討した報告がある。しかし、いずれも対象者の数が少なく、一年齢ごとの平衡機能の発達を検討したものは少ない。

そこで、本研究は重心動揺検査を通して児童の平衡機能の発達過程を明らかにし、障害児臨床の基礎的資料を得ることを目的とする。重心動揺検査の基準として、日本平衡神経科学会による「平衡機能検査の標準化検討委員会」（委員長 時田 喬 1983）から提示されてものによると、重心動揺検査は基本検査と精密検査の2つの検査に分けられ、基本検査は重心位置の移動をX-Y記録計、または前後・左右動揺の継続的記録により観察・記録するもので、動揺径、動揺面積、移動距離、動揺型、動揺の中心位置、開眼・閉眼比（ロンベルグ率）について評価することとしている。また、精密検査の分析項目としては単位面積軌跡長、実効値、振幅確立密度分布と標準偏差、パワースペクトルをあげているが、これらの項目については今後さらに検討を要するとしている。

本研究では、分析項目として、動揺面積、総移動距離、単位面積軌跡長、パワースペクトル、ロンベルグ率をとり上げ、健常児の一年齢ごとの平均値と標準偏差およびそれらの加齢に伴う発達の变化を明らかにする。同時に男女の性差による相違についても検討する。また、日本平衡神経科学会は前述の検査基準のなかで、検査の記録時間については「60秒記録を基準とする。」としながらも、「60秒直立困難な例では30秒記録を行なう。60秒以外のときには記録秒数を記載する。」と記述している。そして、記録時間60秒を基準とした理由として、プラニメータによる測定では動揺面積が60秒ではほぼ一定の大きさとなることをあげている。そのため、先行研究において、その多くは記録時間を60秒と設定しているが、なかには記録時間を30秒とした小島・竹森(1980)による報告も少数ある。記録時間については、今後の障害児臨床を考慮すると、60秒間直立姿勢を保つことが要求される検査の実施は、心理的、身体的にも困難を伴う場合が多いと予想されるため、30秒に短縮される方が妥当であると考えられる。そこで、記録時間を30秒とすることの妥当性を検討するものである。

II. 方 法

1. 対象児

既往歴に発達障害、運動障害の認められない健常児で、開眼および閉眼の両条件で立位姿勢の維持が可能な4歳から15歳までの男女264名を対象とした。対象児は幼稚園の園児51名、小学校の児童144名、中学校の生徒69名である。また、比較検討するため、21歳から44歳までの成人男女14名も対象に加えた。年齢別および性別の人数の内訳を表1に示す。

2. 測定装置

X方向（左右方向）とY方向（前後方向）に対する1cmの重心動揺が、0.1Vの出力を示す重心動揺計（日本電気三栄 1G06）を測定装置として使用した。測定で得られたXおよびY方向の出力信号は、平衡機能計測用プログラム（日本電気三栄 No.9801）によって、パーソナルコンピュータ（NEC PC-9801RX）に取り込み、フロッピーディスクに記録、保存した。なお、記録したXおよびY信号は、

表1 対象児の構成

年齢	男子	女子	全休
4歳	10名	11名	21名
5歳	12名	13名	25名
6歳	12名	10名	22名
7歳	14名	15名	29名
8歳	12名	12名	24名
9歳	10名	9名	19名
10歳	11名	10名	21名
11歳	12名	13名	25名
12歳	8名	10名	18名
13歳	14名	7名	21名
14歳	15名	11名	26名
15歳	6名	7名	13名
成人	7名	7名	14名
合 計	143名	135名	278名

同プログラムによって分析した。図1に、測定の概略図を示す。

3. 測定方法

静的平衡機能を評価するため、重心動揺検査を開眼、閉眼（遮眼）の2条件において行なう。

1) 開眼条件

対象児は、裸足で重心動揺計台上に起立し、両爪先、両踵を接し、両上肢を体側に接して直立姿勢を保つ。その状態で、対象児は前方2mの目の高さに位置した赤色円形の視標を注視する。測定は検査者の「よい はじめ」の合図で開始し、5秒経過後から60秒間重心動揺の記録を行う。対象児には、測定中に身体をできるかぎり動かさないよう事前に教示する。

2) 閉眼（遮眼）条件

開眼条件と同様、対象児は裸足で重心動揺計台上に起立し、両爪先、両踵を接し、両上肢を体側に接して直立姿勢を保つ。閉眼時はアイマスクを用いて遮眼する。測定は検査者の「よい はじめ」の合図で開始し、合図の後、5秒経過後から60秒間の身体動揺を記録する。

4. 分析方法

平衡機能計測プログラムによってディスクに記録したX・Y信号を分析した。開眼条件および閉眼条件のそれぞれ60秒間のX・Y信号の記録から重心の動揺面積および総移動距離を求めた。また、それらの結果から単位面積軌跡長、パワースペクトル、ロンベルグ率を計算した。さらに、60秒間の結果と30秒間の結果との関連性を検討するため、同一測定記録において測定開始の合図の後、5秒経過後から30秒間の記録についても動揺面積と総移動距離を求めた。

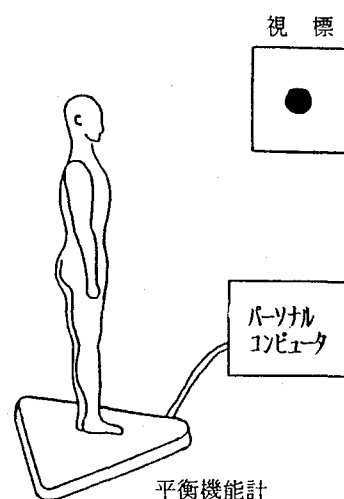


図1 測定の概略図

III. 結果

重心動揺検査で得られた記録を分析した結果について測定条件、分析項目に分けて以下に示す。

1. 開眼条件

1) 動揺面積

4歳から成人までの動揺面積の平均値と標準偏差について、表2-a（全体）、表2-b（性別）に示した。また図2-a（全体）、図2-b（性別）は、これらの結果を図示したものである。

対象児全体における4歳から15歳までの平均値は、年齢が進むとともに漸次数値が減少している。また図2-aより、4歳群と5歳群の間に平均値の急激な減少がみられた。成人群を加えて年齢を要因とした分散分析を行った結果、年齢群間に有意差がみられた（ $F(12, 265) = 18.76, p < 0.01$ ）。さらにTukey法で多重比較を行った結果、4歳群と5歳群の間に1%レベル、6歳群と7歳群の間にそれぞれ5%レベルで有意差が認められた。また、9歳群から15歳群では、どの年齢群間にも有意な差はなかった。成人群と他の年齢群との多重比較においては、10歳群より上の年齢群では成人群との間に有意差はみられなかった。

2) 総移動距離

総移動距離の平均値と標準偏差については、表3-a（全体）、表3-b（性別）に示すとおりである。また、これらの結果を図3-a（全体）、図3-b（性別）に図示した。

対象児全体では、各年齢別の平均値と標準偏差は、4歳群における値が最も大きく、漸次年齢が進むとともに明らかに減少傾向を示している。年齢を要因とした分散分析を行うと、年齢群間に有意差

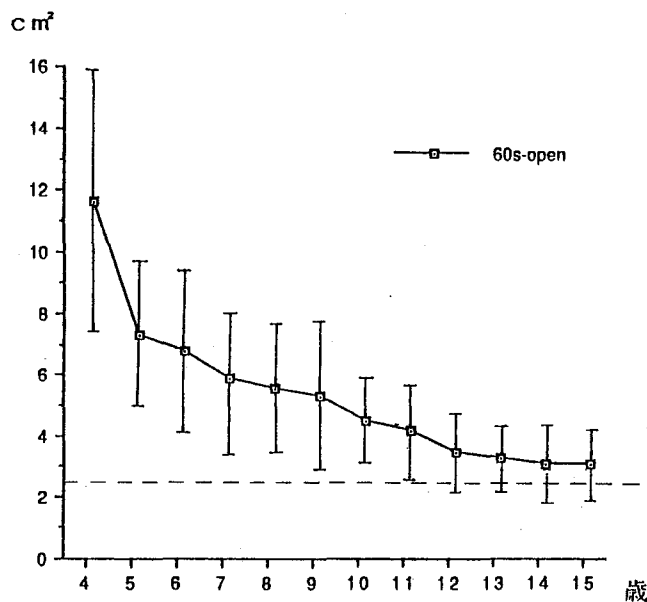
表2-a 動揺面積 (開眼条件・全体)

年齢	M	SD
4歳	11.89	4.68
5歳	7.05	2.74
6歳	6.56	2.64
7歳	5.66	2.47
8歳	5.29	2.25
9歳	5.08	2.49
10歳	4.13	1.62
11歳	3.49	1.84
12歳	3.23	1.48
13歳	3.01	1.00
14歳	2.83	1.47
15歳	2.80	1.18
成人	2.14	0.53

単位: cm^2

表2-b 動揺面積 (開眼条件・性別)

年齢	男 子		女 子	
	M	SD	M	SD
4歳	12.72	4.45	9.63	4.79
5歳	8.16	3.02	6.02	1.80
6歳	7.11	3.11	5.89	1.86
7歳	5.02	1.21	6.27	3.17
8歳	5.08	2.04	5.50	2.51
9歳	6.35	2.70	3.68	1.22
10歳	4.21	1.69	4.21	1.41
11歳	3.18	1.04	4.07	2.27
12歳	2.54	1.27	4.43	1.92
13歳	3.23	1.08	2.58	0.69
14歳	3.18	1.79	2.34	0.68
15歳	2.39	0.36	3.07	1.38
成人	2.04	0.71	2.41	0.59

単位: cm^2 

※点線は成人値を示す

図2-a 動揺面積 (開眼条件・全体)

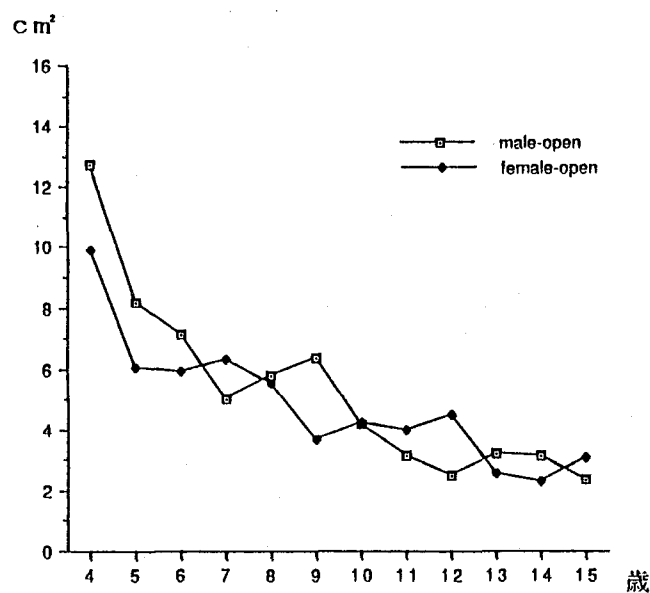


図2-b 動揺面積 (開眼条件・性別)

がみられ($F(12, 265)=16.78, p<0.01$)、Tukey 法により多重比較を行った結果、4歳群と5歳群、6歳群と7歳群のそれぞれの間に1%レベルで有意差が認められた。また、10歳群から15歳群ではどの年齢群間にも有意な差は認められず、さらに11歳より上の年齢群では、成人群との間に有意差が認められなかった。

児童の平衡機能の発達について

男女別の結果を示した図3-bをみると、6歳群から8歳群までと10歳群から12歳群までは、男女の差がひじょうに小さい。年齢と性別による分散分析を行った結果では、年齢の主効果 ($F(12, 265) = 42.45, p < 0.01$) および性別の主効果 ($F(1, 276) = 5.61, p < 0.05$)、そして年齢と性別の交互作用 ($F(12, 253) = 2.06, p < 0.05$) のそれぞれに有意差が認められた。

表3-a 総移動距離 (開眼条件・全体)

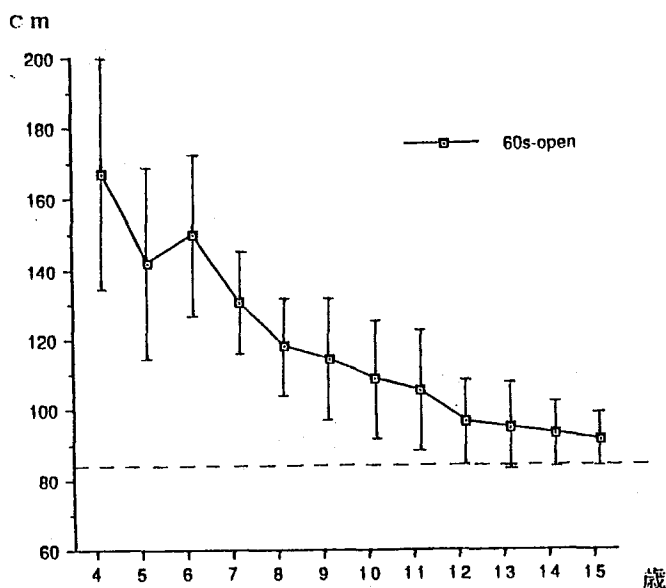
年齢	M	SD
4歳	165.37	31.28
5歳	139.63	25.32
6歳	147.45	22.42
7歳	128.79	13.71
8歳	116.12	12.20
9歳	112.38	15.92
10歳	106.73	14.82
11歳	104.21	14.62
12歳	95.17	11.39
13歳	93.43	10.92
14歳	90.97	8.70
15歳	89.61	6.01
成人	84.41	11.63

単位: cm

表3-b 総移動距離 (開眼条件・性別)

年齢	男子		女子	
	M	SD	M	SD
4歳	178.38	34.31	148.84	22.72
5歳	150.31	25.81	129.77	21.27
6歳	148.89	26.45	145.73	17.65
7歳	127.04	10.65	130.42	16.27
8歳	117.53	14.19	114.71	10.27
9歳	118.75	18.24	105.30	9.46
10歳	105.75	19.35	106.76	9.47
11歳	101.98	10.52	104.66	16.67
12歳	93.16	12.75	97.24	10.18
13歳	95.23	8.85	85.34	10.83
14歳	94.35	9.25	85.36	5.38
15歳	84.89	4.24	91.97	5.27
成人	84.47	13.44	84.36	10.59

単位: cm



※点線は成人値を示す

図3-a 総移動距離 (開眼条件・全体)

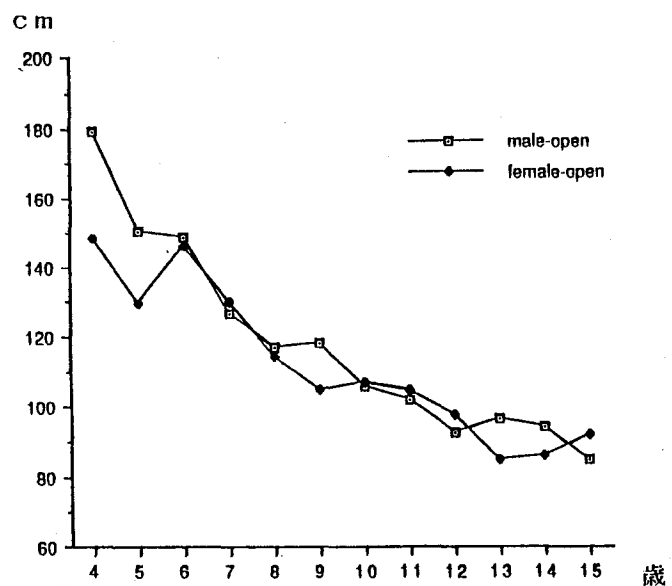


図3-b 総移動距離 (開眼条件・性別)

2. 閉眼条件

1) 動揺面積

閉眼条件における4歳から成人までの動揺面積の平均値と標準偏差について、表4-a（全体）、表4-b（性別）に示した。また図4-a（全体）、図4-b（性別）にこれらの結果を図示した。

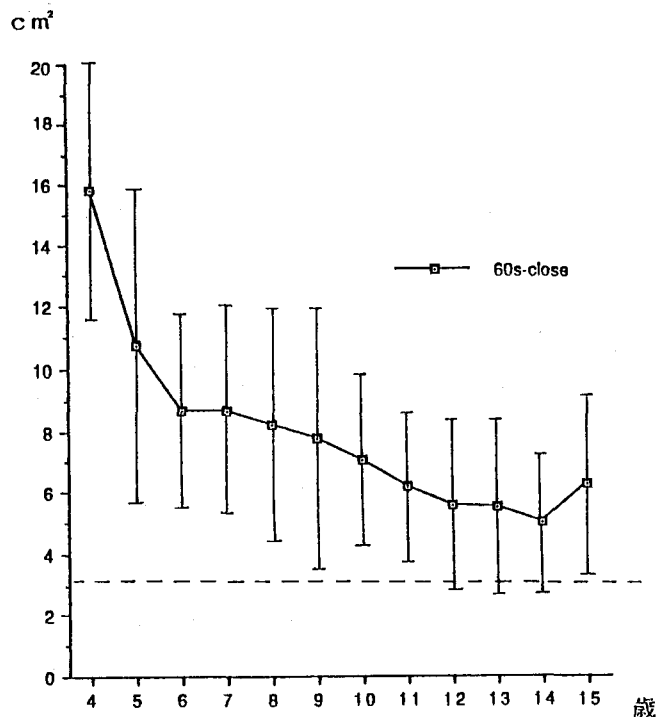
表4-a 動揺面積（閉眼条件・全体）

年齢	M	SD
4歳	15.68	4.83
5歳	10.75	5.25
6歳	8.66	3.11
7歳	8.64	3.41
8歳	8.20	3.76
9歳	7.81	4.29
10歳	7.38	2.76
11歳	6.21	2.65
12歳	5.64	2.67
13歳	5.47	2.37
14歳	4.98	2.19
15歳	6.26	2.79
成人	3.14	1.22

単位: cm^2

表4-b 動揺面積（閉眼条件・性別）

年齢	男 子		女 子	
	M	SD	M	SD
4歳	18.74	3.91	12.73	5.73
5歳	12.47	5.22	9.17	4.94
6歳	9.11	3.48	8.13	2.69
7歳	8.09	3.47	9.15	3.40
8歳	8.98	4.27	7.42	3.16
9歳	9.19	4.96	6.29	2.94
10歳	7.41	3.84	6.81	2.71
11歳	6.49	2.51	5.82	1.63
12歳	4.86	2.47	7.62	2.87
13歳	5.89	2.41	4.79	3.31
14歳	5.58	2.50	4.17	1.43
15歳	7.79	3.21	5.42	1.89
成人	2.78	1.04	3.50	1.36

単位: cm^2 

※点線は成人値を示す

図4-a 動揺面積（閉眼条件・全体）

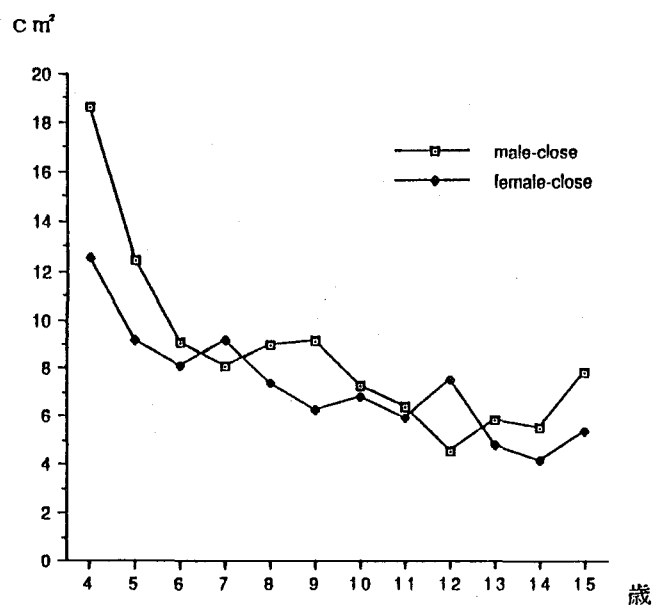


図4-b 動揺面積（閉眼条件・性別）

児童の平衡機能の発達について

対象児全体における4歳から15歳までの平均値は、15歳群を除けば閉眼条件と同様、年齢が進むとともに漸次数値は減少している。また、図4-aより、4歳群と5歳群との間に平均値の急激な減少がみられるが、これも開眼の時と同様の傾向である。成人群を加えて年齢を要因とした分散分析を行った結果、年齢群間に有意差がみられた ($F(12, 265)=14.76, p<0.01$)。さらにTukey法で多重比較を行った結果、4歳群と5歳群との間に1%レベルで有意差が認められた。また、9歳群から15歳群では、どの年齢群間においても有意差はなく、成人群と他の年齢群との多重比較においては、11歳群より上の年齢群では成人群との間に有意差がみられなかった。この結果は、開眼条件と比較しはば1年齢遅れることがわかった。

なお、図4-bより性別の結果をみると、7歳群と12歳群を除いては、女子の平均値は男子の平均値よりも小さい。年齢と性別による分散分析を行ったところ、年齢の主効果 ($F(12, 265)=14.58, p<0.01$) および性別の主効果 ($F(1, 276)=6.43, p<0.05$) に有意な差がみられたが、年齢と性別の交互作用には有意差は認められなかった。

2) 総移動距離

閉眼条件における総移動距離の平均値と標準偏差については、表5-a (全体)、表5-b (性別) に示す通りである。また、それらの結果を図5-a (全体)、図5-b (性別) に図示した。

対象児全体での各年齢群の平均値は年齢が進むとともに減少傾向を示しているが、開眼条件と比較すると標準偏差は大きい。年齢を要因とした分散分析を行うと年齢群間に有意差がみられ ($F(12, 265)=17.49, p<0.01$)、さらにTukey法により多重比較を行った結果、4歳群と5歳群との間に5%レベルで有意差が認められた。また、9歳群から15歳群では、どの年齢群間においても有意差はみられず、12歳より上の年齢群では、成人群との間に有意差が認められなかった。

なお、年齢と性別による分散分析を行った結果では、年齢の主効果 ($F(12, 265)=14.76, p<0.01$) および性別の主効果 ($F(1, 276)=9.49, p<0.01$) に有意な差がみられ、年齢と性別の交互作用には有意差は認められなかった。

表5-a 総移動距離 (閉眼条件・全体)

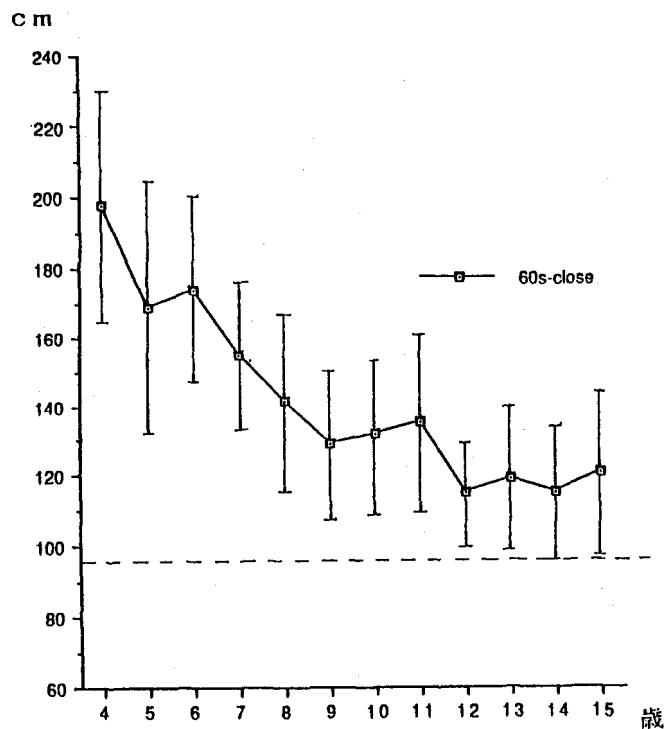
年齢	M	SD
4歳	198.73	33.45
5歳	168.68	35.45
6歳	173.63	26.72
7歳	154.99	21.59
8歳	141.27	26.34
9歳	129.36	21.51
10歳	130.83	23.85
11歳	134.97	25.33
12歳	116.42	17.31
13歳	119.08	19.11
14歳	115.39	16.78
15歳	119.97	21.59
成人	95.78	15.45

単位: cm

表5-b 総移動距離 (閉眼条件・性別)

年齢	男 子		女 子	
	M	SD	M	SD
4歳	218.12	26.54	176.76	24.88
5歳	185.51	31.48	153.14	32.55
6歳	169.96	21.08	178.03	32.91
7歳	157.91	22.70	152.26	20.92
8歳	146.93	33.51	135.60	16.06
9歳	134.02	25.02	124.19	16.71
10歳	132.37	27.46	132.07	15.29
11歳	135.18	32.87	133.98	12.67
12歳	115.12	11.76	121.79	17.21
13歳	122.67	16.91	111.90	22.54
14歳	118.92	17.57	110.57	15.09
15歳	132.57	32.26	112.86	14.78
成人	92.66	14.01	98.89	17.26

単位: cm



※点線は成人値を示す

図5-a 総移動距離（閉眼条件・全体）

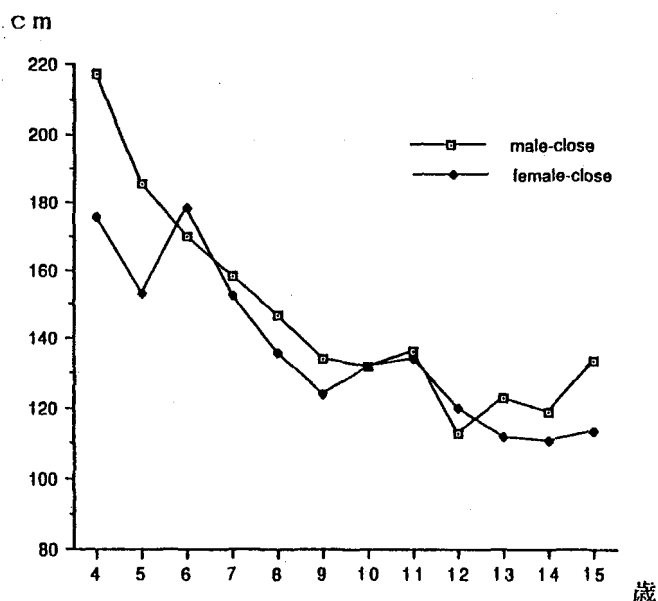


図5-b 総移動距離（閉眼条件・性別）

3. 単位面積軌跡長

単位面積軌跡長は重心動揺における単位面積あたりの軌跡長、すなわち、総軌跡長／動揺面積で計算した値で固有系姿勢制御の働きを示すパラメーター（大川ら 1995, 1996）とされている。表6に開眼、閉眼条件における結果を示した。単位面積軌跡長は全体として開眼条件の結果が閉眼条件のそれよりも数値は大きいこと、また4歳から成人まで両条件共に年齢が進むに従って増加した。年齢と視覚条件（開眼・閉眼）による分散分析を行った結果、年齢の主効果（ $F(12, 265)=17.76, p<0.01$ ）および視覚条件の主効果（ $F(1, 265)=11.03, p<0.01$ ）に有意差があったが、交互作用はみられなかった。Tukey法により多重比較を行った結果、開眼条件では4歳と5歳の間に5%レベル、9歳と10歳の間に1%レベル、閉眼条件では5歳と6歳、10歳と11歳の間に1%レベルでそれぞれ有意差があった。

4. パワースペクトル

パワースペクトルの平均値と標準偏差については表7-a（開眼条件 全体）、表7-b（閉眼条件 全体）に示す通りである。また、それらの結果を図示したものが図6である。開眼条件では、左右方向（X軸）において0.02Hz～0.2Hz（X1）の周波数帯域は、年齢に伴う変化はほとんどみられなかった。また、0.2Hz～2.0Hz（X2）では4歳、5歳群はその値がやや大きく6歳以降一定の範囲内

表6 単位面積軌跡長

年齢	開 眼	閉 眼
4歳	14.26	12.13
5歳	19.96*	15.36
6歳	21.87	20.16**
7歳	22.86	18.42
8歳	22.13	18.26
9歳	22.03	16.94
10歳	26.17**	18.69
11歳	29.26	22.59**
12歳	29.68	21.47
13歳	30.97	21.84
14歳	32.16	23.18
15歳	32.31	20.32
成 人	39.43	30.81

** : $P<0.01$ * : $P<0.05$

児童の平衡機能の発達について

での増減が認められた。2.0Hz ~9.98Hz (X 3) の周波数帯域の値は4歳群でやや小さく、5歳以降変化は少ない。一方、前後動揺 (Y 軸) について0.02Hz~0.2Hz (Y 1) での値は年齢が進むに従ってわずかながら増加する傾向にある。0.2Hz ~2.0Hz (Y 2) の帯域では4歳と5歳群で値が大きい、その後数値に大きな変化は見られない。2.0Hz ~9.98Hz (Y 3) の値は4歳ではやや小さいが、5歳群で増加し、それ以降の年齢群ではほとんど変化しなかった。X軸及びY軸の各周波数帯域において年齢を要因とした分散分析を行ったところ、X 2 ($F(12, 265)=2.06$, $p<0.05$)、Y 1 ($F(12, 265)=1.93$, $p<0.05$)、Y 2 ($F(12, 265)=1.83$, $p<0.05$)のそれぞれに有意差が認められた。

表7-a パワースペクトル (開眼条件 全体)

年齢	X軸 (左右方向)			Y軸 (前後方向)		
	0.02~ 0.2 Hz	0.2 ~ 2.0 Hz	2.0 ~ 9.98 Hz	0.02~ 0.2 Hz	0.2 ~ 2.0 Hz	2.0 ~ 9.98 Hz
4歳	27.29 ± 5.65	56.50 ± 5.45	16.21 ± 3.24	28.62 ± 6.43	53.49 ± 5.58	17.88 ± 3.57
5歳	27.50 ± 5.96	54.33 ± 6.98	18.42 ± 3.31	28.74 ± 6.29	52.37 ± 5.29	18.89 ± 4.28
6歳	27.89 ± 5.12	51.45 ± 4.10	20.66 ± 2.66	31.91 ± 6.33	46.91 ± 5.45	21.18 ± 2.45
7歳	30.64 ± 5.86	48.49 ± 4.09	20.87 ± 3.57	31.10 ± 5.89	46.82 ± 4.78	21.83 ± 3.44
8歳	30.48 ± 6.39	48.89 ± 5.48	20.63 ± 3.59	32.68 ± 5.27	46.41 ± 5.16	20.91 ± 3.82
9歳	30.80 ± 6.75	47.91 ± 5.63	21.37 ± 3.75	34.32 ± 5.49	44.79 ± 5.58	20.90 ± 3.48
10歳	29.24 ± 6.13	49.18 ± 5.90	21.58 ± 3.49	33.44 ± 6.68	44.68 ± 5.21	21.88 ± 3.71
11歳	29.82 ± 6.42	49.63 ± 5.46	20.61 ± 2.82	33.28 ± 6.29	45.22 ± 5.69	21.50 ± 3.48
12歳	30.20 ± 5.86	49.07 ± 5.32	20.74 ± 3.43	34.53 ± 6.75	45.16 ± 6.32	20.32 ± 3.32
13歳	26.22 ± 5.30	53.42 ± 5.26	20.37 ± 2.84	34.25 ± 5.94	44.53 ± 4.49	21.22 ± 2.79
14歳	28.48 ± 4.98	51.16 ± 4.46	20.37 ± 1.29	32.27 ± 5.86	45.09 ± 5.65	22.65 ± 2.31
15歳	29.35 ± 5.57	50.94 ± 4.33	19.72 ± 2.45	33.24 ± 6.59	44.35 ± 6.43	22.41 ± 2.96
成人	28.67 ± 7.49	51.13 ± 6.35	20.20 ± 2.83	35.27 ± 5.33	42.25 ± 5.28	22.48 ± 3.51

単位: %

表7-b パワースペクトル (閉眼条件 全体)

年齢	X軸 (左右方向)			Y軸 (前後方向)		
	0.02~ 0.2 Hz	0.2 ~ 2.0 Hz	2.0 ~ 9.98 Hz	0.02~ 0.2 Hz	0.2 ~ 2.0 Hz	2.0 ~ 9.98 Hz
4歳	25.23 ± 4.45	58.78 ± 3.37	15.99 ± 3.24	24.99 ± 4.21	57.28 ± 4.37	17.72 ± 2.68
5歳	25.54 ± 5.38	57.06 ± 5.43	17.40 ± 3.43	24.02 ± 5.63	55.80 ± 4.41	20.21 ± 3.34
6歳	26.94 ± 5.79	53.89 ± 4.69	19.17 ± 3.79	27.52 ± 4.58	52.32 ± 4.74	20.16 ± 3.72
7歳	28.44 ± 6.95	51.84 ± 5.42	19.70 ± 3.09	28.09 ± 6.55	51.14 ± 5.97	20.76 ± 3.43
8歳	29.41 ± 6.36	52.13 ± 6.65	19.46 ± 3.37	28.91 ± 5.41	51.35 ± 4.58	19.73 ± 3.68
9歳	28.05 ± 6.46	52.21 ± 5.78	19.67 ± 3.12	29.00 ± 5.74	50.61 ± 4.31	20.38 ± 3.54
10歳	26.62 ± 6.70	53.28 ± 5.29	20.11 ± 3.59	28.53 ± 5.39	50.62 ± 5.74	20.85 ± 2.87
11歳	27.48 ± 7.36	54.02 ± 7.19	18.50 ± 3.02	29.11 ± 5.52	50.48 ± 5.46	20.41 ± 3.12
12歳	27.83 ± 6.41	53.99 ± 5.55	18.18 ± 2.26	29.93 ± 5.85	50.85 ± 5.42	19.23 ± 3.31
13歳	26.01 ± 6.57	56.04 ± 7.24	17.95 ± 2.39	30.70 ± 5.89	51.01 ± 5.69	18.29 ± 2.84
14歳	26.86 ± 5.59	55.50 ± 4.69	17.64 ± 3.52	30.59 ± 6.42	50.59 ± 5.45	18.65 ± 3.40
15歳	24.73 ± 5.37	57.79 ± 4.32	17.48 ± 2.48	30.07 ± 6.29	52.10 ± 5.44	17.83 ± 2.06
成人	25.73 ± 5.27	55.49 ± 5.58	18.78 ± 2.37	29.34 ± 5.69	50.61 ± 6.17	20.05 ± 3.94

単位: %

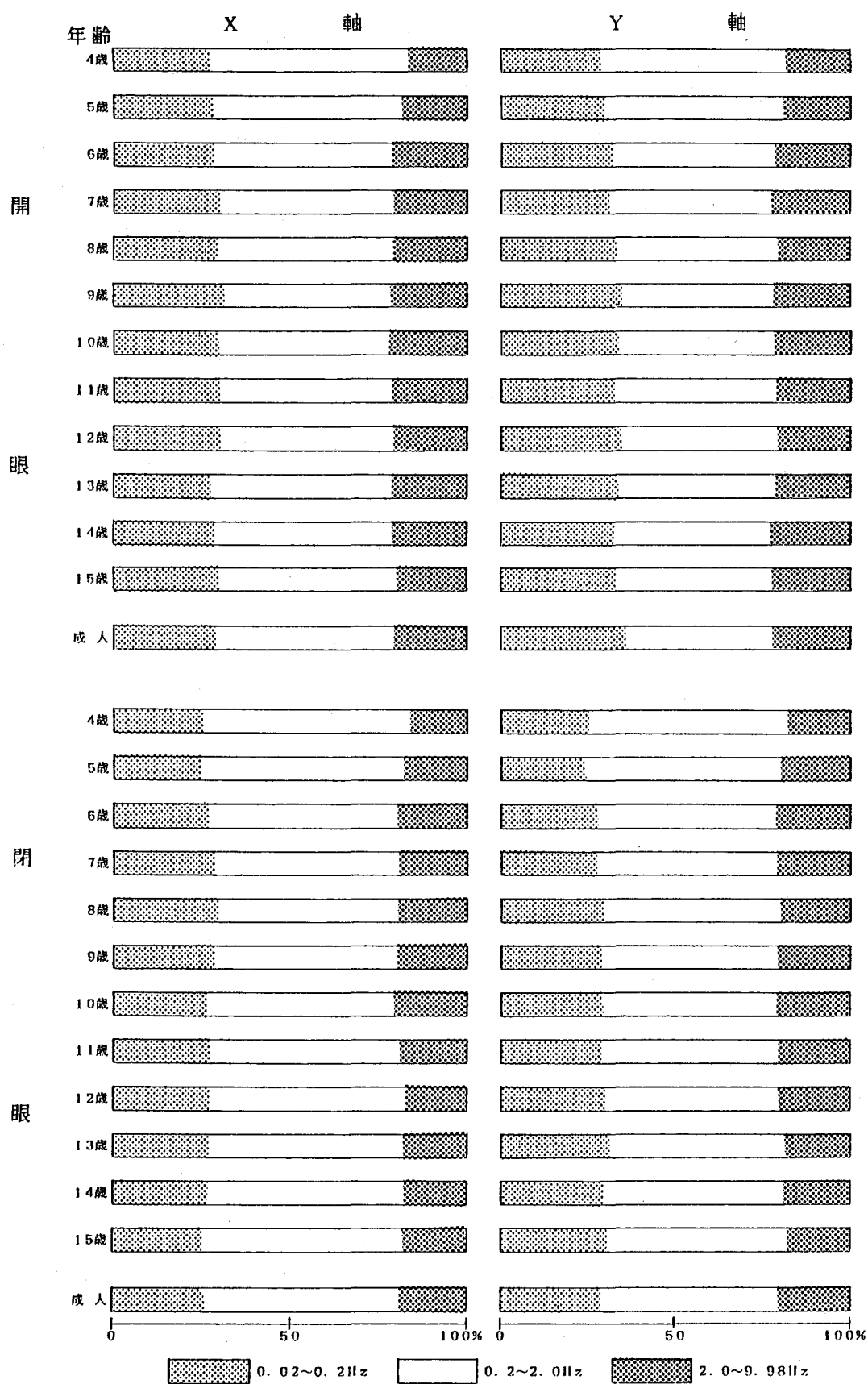


図6 パワースペクトル (上段: 開眼条件 下段: 閉眼条件 全体)

児童の平衡機能の発達について

次に、閉眼条件では左右方向（X軸）において0.02Hz～0.2Hz（X 1）の周波数帯域は、開眼条件と同様に年齢に伴う変化はあまりみられない。0.2Hz～2.0Hz（X 2）では4歳から7歳群までの間わずかながら減少し、それ以降の年齢で再び増加している。これに関連して2.0Hz～9.98Hz（X 3）の帯域は4歳から5歳群に変化があり、それ以降顕著な増減は認められない。前後動揺（Y軸）について、4歳から6歳にかけて変化があり、その後はわずかながら増加している。0.2Hz～2.0Hz（Y 2）の帯域では4歳から6歳まで減少し、7歳以降の年齢群では変化はみられない。2.0Hz～9.98Hz（Y 3）の値は4歳から成人群にかけてすべての年齢群間でほとんど変化しなかった。各々の周波数帯域において年齢を要因とした帯域別での分散分析を行ったところ、X 2（ $F(12,265)=2.03$, $p<0.05$ ）、X 3（ $F(12,265)=1.97$, $p<0.05$ ）、Y 1（ $F(12,265)=1.85$, $p<0.05$ ）、Y 2（ $F(12,265)=2.11$, $p<0.05$ ）のそれぞれで有意差が認められた。

5. ロンベルグ率（開眼・閉眼比）

一般に重心動揺検査における平衡機能の視覚系依存度を示す指標として開眼・閉眼比（閉眼条件の数値／開眼条件の数値 以下ロンベルグ率という）が検討される。そこで、動揺面積および総移動距離についてロンベルグ率を算出し、結果をまとめる。

1) 動揺面積

動揺面積におけるロンベルグ率の一年齢ごとの平均値を表8に示す。また、図7-a（全体）、図7-b（性別）は、これを図示したものである。いずれの年齢群においても、閉眼条件の結果は開眼時の約1.5倍から2倍の数値を示し、視覚系依存度が高いことがわかる。年齢差については、図7-aからわかるように4歳群から15歳群にかけて、わずかな増加傾向がみられるが、年齢群間には有意な差は認められなかった。次に性差をみると図7-bから明らかなように、9歳群と12歳群、そして成人群を除いたすべての年齢群では、男子の値が女子と比較してわずかに高い。また男子では15歳群で最高値となるまで加齢とともに増加しているが、女子では11歳群が最も高く、以後減少する傾向がみられた。なお、男子については年齢群間に有意差が認められた。

表8 動揺面積におけるロンベルグ率

年齢	全 体	男 子	女 子
4歳	1. 56	1. 70	1. 48
5歳	1. 58	1. 60	1. 57
6歳	1. 42	1. 48	1. 44
7歳	1. 67	1. 76	1. 66
8歳	1. 61	1. 87	1. 39
9歳	1. 58	1. 46	1. 71
10歳	1. 69	1. 76	1. 61
11歳	2. 08	2. 04	2. 02
12歳	1. 86	1. 87	1. 83
13歳	1. 89	1. 94	1. 76
14歳	1. 87	1. 96	1. 74
15歳	2. 38	3. 22	1. 79
成 人	1. 47	1. 39	1. 55

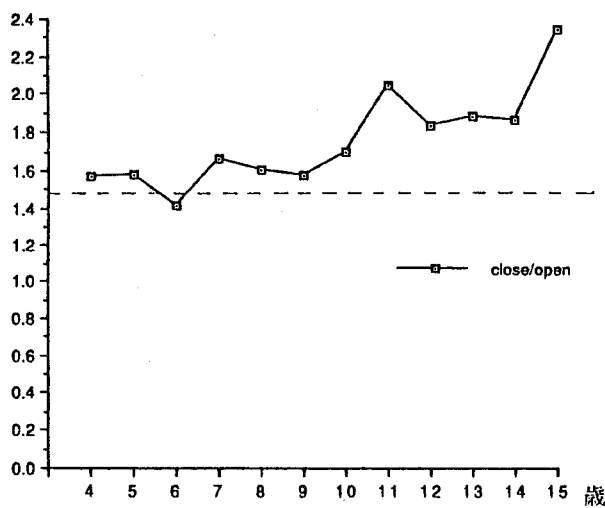
表9 総移動距離におけるロンベルグ率

年齢	全 体	男 子	女 子
4歳	1. 24	1. 26	1. 18
5歳	1. 21	1. 24	1. 19
6歳	1. 19	1. 16	1. 22
7歳	1. 21	1. 25	1. 17
8歳	1. 22	1. 25	1. 18
9歳	1. 15	1. 14	1. 18
10歳	1. 24	1. 31	1. 21
11歳	1. 33	1. 34	1. 29
12歳	1. 23	1. 27	1. 23
13歳	1. 29	1. 27	1. 31
14歳	1. 27	1. 26	1. 28
15歳	1. 29	1. 55	1. 23
成 人	1. 14	1. 10	1. 18

2) 総移動距離

総移動距離におけるロンベルグ率の各年齢群の平均値を表9に示す。また、図8-a(全体)、図8-b(性別)は、これを図示したものである。動揺面積と同じく総移動距離においても閉眼条件の数値は、どの年齢群においても開眼条件での数値を上回っている。しかし、ロンベルグ率は動揺面積における結果よりもやや低く、且つ1.15(9歳児)~1.33(11歳児)と年齢群間の差異が小さく、年齢群間において有意差は認められなかった。

性差をみると、男子では4歳から14歳まではほとんど年齢差はみられないが、15歳で数値が高くなり、年齢群間に有意差があった。一方、女子では年齢群間に有意な差はないが、4歳から13歳にかけて数値が増加し、それ以後成人群にかけて減少するといった傾向が伺われた。



※点線は成人値を示す

図7-a 動揺面積におけるロンベルグ率(全体)

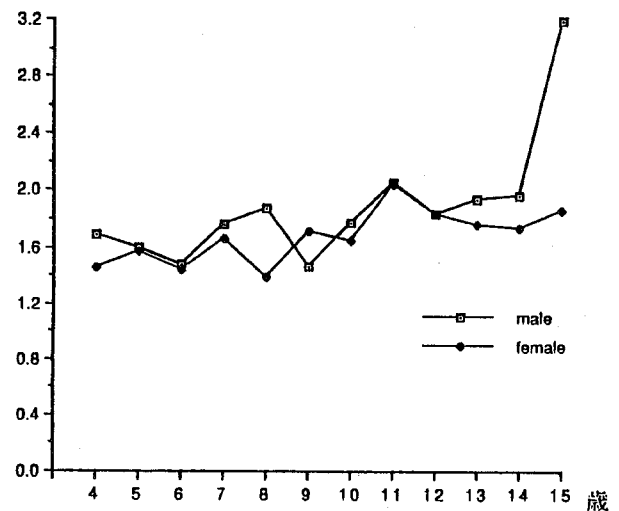
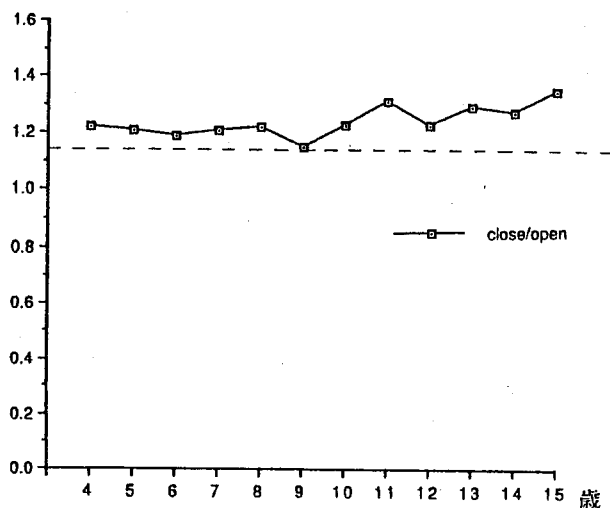


図7-b 動揺面積におけるロンベルグ率(性別)



※点線は成人値を示す

図8-a 総移動距離におけるロンベルグ率(全体)

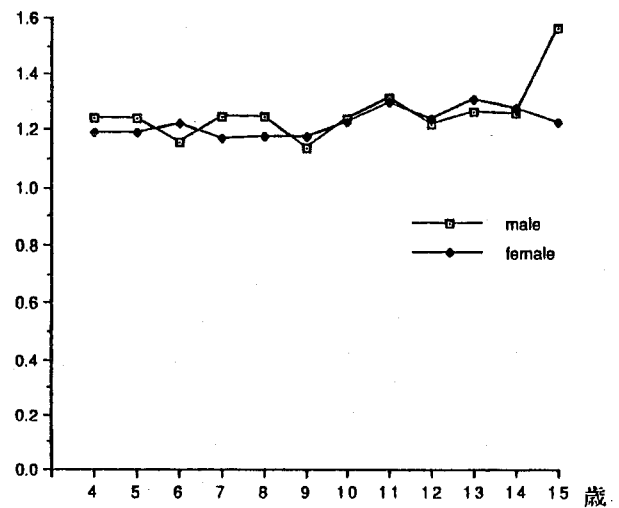


図8-b 総移動距離におけるロンベルグ率(性別)

児童の平衡機能の発達について

6. 記録時間60秒と30秒との関連性

(1) 動揺面積

1) 開眼条件

記録時間60秒と30秒のそれぞれについて、動揺面積の平均値と標準偏差を表10に示した。また、図9は記録時間60秒と30秒の結果を併せて図示したものである。記録時間30秒の平均値は、60秒の平均値の約0.63倍となっている。30秒の結果について年齢を要因とした分散分析を行った結果、年齢群間に有意差($F(12, 265)=12.580, p<0.01$)が認められた。そこで、Tukey法で多重比較を行った結果、

表10 記録時間30秒と60秒の動揺面積 (開眼条件 全体)

年齢	30秒		60秒	
	M	SD	M	SD
4歳	7.42	4.36	11.89	4.68
5歳	4.51	1.67	7.05	2.74
6歳	4.40	2.12	6.56	2.64
7歳	3.43	1.61	5.66	2.47
8歳	3.41	1.49	5.29	2.25
9歳	3.31	1.75	5.08	2.49
10歳	2.78	1.39	4.13	1.62
11歳	2.09	1.12	3.49	1.84
12歳	2.06	1.03	3.23	1.48
13歳	1.79	0.78	3.01	1.00
14歳	1.82	0.96	2.83	1.47
15歳	1.83	0.79	2.80	1.18
成人	1.32	0.42	2.14	0.53

単位: cm^2

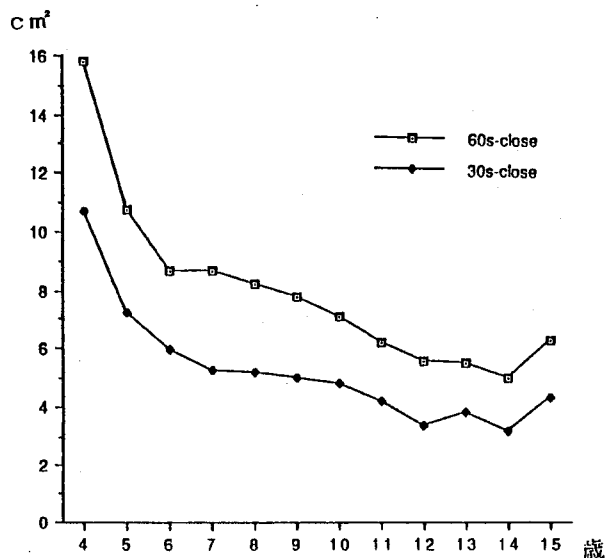


図9 記録時間30秒と60秒の動揺面積 (開眼条件 全体)

表11 記録時間30秒と60秒の動揺面積 (閉眼条件 全体)

年齢	30秒		60秒	
	M	SD	M	SD
4歳	10.69	3.22	15.68	4.83
5歳	7.19	4.02	10.75	5.25
6歳	5.94	2.33	8.66	3.11
7歳	5.25	1.79	8.64	3.41
8歳	5.21	2.46	8.20	3.76
9歳	4.98	3.03	7.81	4.29
10歳	4.83	2.48	7.38	2.76
11歳	4.20	1.51	6.21	2.65
12歳	3.38	1.71	5.64	2.67
13歳	3.77	1.69	5.47	2.37
14歳	3.16	1.62	4.98	2.19
15歳	4.32	1.79	6.26	2.79
成人	2.26	1.11	3.14	1.22

単位: cm^2

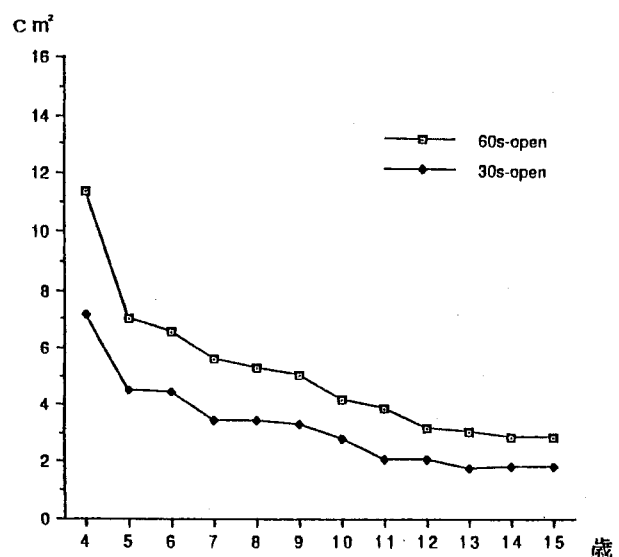


図10 記録時間30秒と60秒の動揺面積 (閉眼条件 全体)

60秒の結果と同様、4歳群と5歳群との間に1%レベルで有意差があった。また、両記録時間の結果について回帰分析を行った結果、 $r=0.873$ （決定率 74.8%）という高い相関が得られた。

2) 閉眼条件

表11は、記録時間60秒と30秒のそれぞれについて、平均値と標準偏差の結果を示したものである。また、図10にはその結果を示した。記録時間30秒の平均値は、60秒の平均値の約0.66倍となっている。30秒の結果について年齢を要因とした分散分析を行った結果、年齢群間に有意差（ $F(12, 265)=12.73$ 7, $P<0.01$ ）が認められた。さらにTukey法による多重比較を行った結果、60秒の結果と同じく、

表12 記録時間30秒と60秒の総移動距離（開眼条件 全体）

年齢	30秒		60秒	
	M	SD	M	SD
4歳	79.72	17.18	165.37	31.28
5歳	66.64	11.01	139.63	25.32
6歳	73.06	11.86	147.45	22.42
7歳	64.16	8.82	128.79	13.71
8歳	58.27	6.10	116.12	12.20
9歳	56.01	8.57	112.38	15.92
10歳	54.84	7.65	106.73	14.82
11歳	51.96	7.32	104.21	14.62
12歳	48.29	6.67	95.17	11.39
13歳	46.78	6.32	93.43	10.92
14歳	45.79	4.77	90.97	8.70
15歳	45.81	4.53	89.61	6.01
成人	42.07	6.55	84.41	11.63

単位：cm

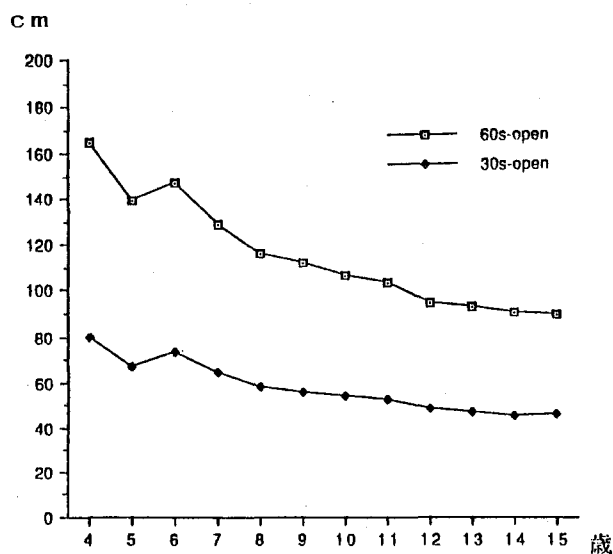


図11 記録時間30秒と60秒の総移動距離（開眼条件 全体）

表13 記録時間30秒と60秒の総移動距離（閉眼条件 全体）

年齢	30秒		60秒	
	M	SD	M	SD
4歳	96.12	14.91	198.73	33.45
5歳	82.83	20.03	168.68	35.45
6歳	85.57	12.82	173.63	26.72
7歳	76.61	10.11	154.99	21.59
8歳	68.87	10.59	141.27	26.34
9歳	64.75	10.94	129.36	21.51
10歳	65.42	10.46	130.83	23.85
11歳	68.88	11.78	134.97	25.33
12歳	58.62	8.72	116.42	17.81
13歳	60.77	10.86	119.08	19.11
14歳	56.78	7.20	115.39	16.78
15歳	60.82	8.31	119.97	21.59
成人	49.47	8.28	95.78	15.45

単位：cm

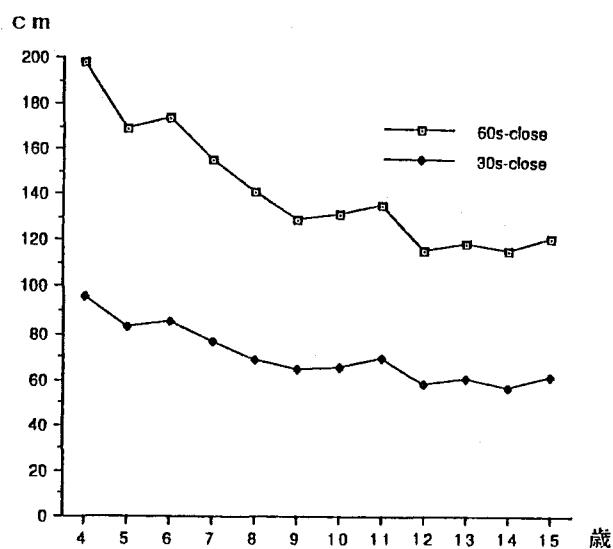


図12 記録時間30秒と60秒の総移動距離（閉眼条件 全体）

児童の平衡機能の発達について

4歳群と5歳群との間に1%レベルで有意差がみられた。また、回帰分析を行った結果、 $r=0.875$ (決定率 77.3%) という高い相関が認められた。

(2) 総移動距離

1) 開眼条件

記録時間60秒と30秒のそれぞれについて、平均値と標準偏差を表12に示した。また、図11は記録時間60秒と30秒の結果を図示したものである。

記録時間30秒の平均値は、60秒の平均値の約0.50倍となっている。30秒の結果について年齢を要因とした分散分析を行った。その結果、年齢群間に有意差 ($F(12, 265)=11.425$, $p<0.01$) がみられたため、Tukey 法による多重比較をおこなうと、60秒での結果と同様、4歳群と5歳群との間に1%レベルで、さらに6歳群と7歳群との間に5%レベルで有意差が認められた。また回帰分析の結果、 $r=0.962$ (決定率92.7%) という極めて高い相関が得られた。

2) 閉眼条件

記録時間60秒と30秒のそれぞれについて、平均値と標準偏差を表13に示した。また、図12には記録時間60秒と30秒の結果を図示した。記録時間30秒の平均値は、60秒の平均値の約0.50倍となっている。30秒の結果について年齢を要因とした分散分析を行った結果、年齢群間に有意差 ($F(12, 265)=12.27$, $P<0.01$) が認められた。さらにTukey 法による多重比較を行うと、記録60秒では4歳群と5歳群との間に5%レベルで有意差がみられたのに対し、記録30秒の結果では有意差は認められなかった。また、回帰分析の結果、 $r=0.929$ (決定率87.2%) と非常に高い相関が得られた。

IV. 考 察

児童の発達については、これまでに言語、認知、運動、社会性など多方面からの研究が進められてきている。本研究は、その中でも詳細に明らかにされていない児童の平衡機能の発達過程について、重心動揺検査を通して検討した。以下、分析項目ごとに考察する。

1. 動揺面積および総移動距離について

平衡機能の総合的評価法と考えられる重心動揺検査を4歳から15歳までの一年齢ごとの児童および成人を対象として実施した。表14は統計処理した結果を示したものである。特定の年齢群間に有意差があり、年齢に伴う平衡機能の発達を認めることができた。表14からわかるように、開眼条件では動揺面積および総移動距離のいずれにおいても4歳から5歳、そして6歳と7歳にかけて著しい発達がみられ、ほぼ10歳から11歳代には成人値と有意差はなくなることがわかった。また、閉眼条件では動揺面積、総移動距離共に4歳から5歳の時期に大きな変化がみられ、動揺面積では11歳代で、総移動距離では12歳代で成人値との有意な差がなくなっていた。

以上のことから、平衡機能の発達は4歳から9歳までの間に顕著な上昇的発達がみられ、それ以降10歳から12歳において成人値にほぼ近づくことがわかった。すなわち、児童の平衡機能の発達過程には急速に発達する時期、そして成人値と差がなくなり平衡機能が完成期へと向かう転換期 (turning period) といわれる時期が存在することが示唆された。今回の測定結果から、開眼条件における平衡機能の発達は4歳代および6歳代において急速に進み、ほぼ9歳から10歳代にかけて転換期がみられ、それ以降の年齢において成人値に達することがわかった。

これまで、平衡機能の発達を検討した研究の中で、小島・竹森 (1980) は動揺面積、総移動距離ともに直立可能な1.5歳が一番大きく、加齢に伴って減少するとしている。また平林・田口 (1985) は、4から6歳群では個人差が大きいことを指摘し、その理由として生理面、情動面における発達が著しいこと、発達の個人差が大きいことを上げているが、幼児期に顕著な発達がみられることは、本研究においても伺見された。

表14 年齢群間における統計処理の結果

項目 \ 年齢	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
開眼条件												
動揺面積	**		*				+	+	+	+	+	+
移動距離	**		**					+	+	+	+	+
閉眼条件												
動揺面積	**							+	+	+	+	+
移動距離	*								+	+	+	+

** : $P < 0.01$ * : $P < 0.05$

+ : 成人値との比較で有意差なし

柳田 (1986) は4歳から15歳までの児童を対象として重心動揺検査を行い、単位軌跡長および面積の平均値は、9歳から10歳頃までの減少が顕著で、以後緩やかな減少傾向を示すとしている。今回の結果では、動揺面積、総移動距離において、9歳群もしくは10歳群で、15歳群との間に有意差がみられなくなった。さらに成人値に近づく年齢については、17歳頃 (小島・竹森 1980)、13~15歳 (坂口 1989)、12~15歳 (平田・田口 1985) との報告があるが、我々は成人値との比較により、10~12歳という結果を得た。すなわち、これまで報告された時期よりは早い時期に、すでに平衡機能は完成期へと向かっている可能性が示唆された。

しかし、平衡機能の発達過程においてなぜ顕著な発達期あるいは転換期が存在するかということについては、これらの時期が身体の発育期に一致するため (小島・竹森 1980)、Reticular formationのmyelinationとの関連性を推測するもの (柳田 1986)、また神経・筋肉系の発達と形態学的変化および情動面に関する発達の関与を推測するもの (平林・田口 1985) と、いくつかの理由があげられる。時田 (1990) は、姿勢の維持には、随意性、立ち直り反応、平衡反応、筋緊張、協同運動機構のそれぞれが関与し、またそれらの機構の統合により姿勢は維持されると指摘している。すなわち、姿勢の維持は脳皮質を含む上位中枢神経系から脊髄レベルの下位神経系までの機能の発達が深く関係し、それと筋・骨格系の発育が関与しているといえる。

そのために、平衡機能の発達は運動発達のみならず精神発達とも関連していることが推測される。脳重量について、Mann, M. (1984) は4~6歳になると成人の脳の重さの95%になることを示している。ちなみに、精神発達を認知の発達から研究したPiaget, J. は認知構造が質的に変換する時期は6歳から7歳および11歳から12歳の時期であることを明らかにしている。

また、筋・神経系の発達を歩行運動の観点から考察すると、岡本・後藤 (1984) は下肢筋群の筋電図学的研究を行い、筋放電の活動様式の検討の結果、7歳頃が成人型の歩行パターンの完成期であることを明らかにしている。さらに、大築 (1987) による児童の運動機能の発達研究では走動作や立ち幅跳び動作などの基本動作はほぼ6歳頃で成人型になるという。

本研究では、4歳から15歳における平衡機能は4歳から9歳前後までに著しい発達がみられ、なかでも4歳から5歳、そして6歳から7歳にかけて発達期が存在し、その後、転換期が現れ成人値に達することを明らかにした。その時期は、身体発育、中枢神経系の発達にもとづく精神発達、運動発達の観点からも発達の転換期であることが指摘されており、平衡機能はこれらの発達とも深く関連して

いるものと考えられる。

男女の性差については、小島・竹森(1980)は、1.5歳～14歳までは男子に比較して女子の重心動揺が小さいが、15歳頃では逆に男子の方が動揺が小さくなり、17歳以降では性差は見られなくなっている。本研究の結果では、4～5歳では明らかに女子の動揺の方が小さかったが、他の年齢群では開眼と閉眼条件でそれぞれ異なる結果を得た。まず、開眼条件では、年齢と性別の交互作用に有意差がみられたことから、明確な性差は現れていないものと考えられる。次に、閉眼条件については、動揺面積、総移動距離とも、年齢の主効果と性別の主効果があったものの、年齢と性別の交互作用がなかったことから、各年齢群ごとの男子と女子の検査結果の差は等しいとみなすことができ、4歳から15歳までの女子の平均値は男子の平均値よりも小さいといえることができる。一般に、児童の身体の発達を見ると、男女とも、1歳、7歳、思春期の3つの発達の著しい時期があり、思春期には女子が12～14歳、男子が14～16歳で最大の成長があるといわれている。女子の動揺が小さいのは、このような身体発達との関連もあるものと思われる。

また、重心動揺検査で測定される平衡機能は中枢神経系において脊髄レベルから大脳皮質レベルまでの機能による総体的な結果が動揺面積、総移動距離として表現されている。すなわち、脊髄反射、筋緊張、立ち直り反応などを含む感覚運動機能、感情や情緒のコントロール、認知・言語などの諸機能、能力が相互に関連しているものと考えられる。そのため、低年齢で女子の方が男子よりも成績が良いこと、また閉眼条件においても総じて女子の方が成績が良いというのは、感情や情緒のコントロールによる精神的安定性ともいえる要因が関与している可能性もある。

2. パワースペクトル

重心動揺の周波数分析を行った先行研究において、羽柴(1982)は前後方向の0.2～0.5Hzで閉眼時増大すると述べており、瀧口(1986)は閉眼により、0.25～0.5Hzでパワーが大きくなると報告している。また、米田(1982)は0～10Hzを7帯域に区分し、視覚の影響は2Hz以下にあると報告した。さらに、五島(1986)は閉眼になると前後、左右方向とも0.2～2.0Hz域が増えることを明らかにしている。

図6は検査結果における周波数帯域の百分率の平均値を図示したものだが、先行研究と同様、前後及び左右方向とも、閉眼条件では0.2～2.0Hz帯域が増加した。前後方向において開眼条件と閉眼条件における数値を比較したところ、4歳から7歳と13歳を除く他の年齢群では5%レベルの有意差が認められた(但し、15歳群では1%レベルの有意な差があった)。さらに、前後方向では4歳、5歳を除く他の年齢群では1%レベルでの有意差があった。すなわち、閉眼条件において左右方向よりも前後方向の身体動揺に起因するパワーが増大した。先行研究が示唆するように、0.2～2.0Hzは視覚系が関与する周波数帯域であるとした場合、視覚情報が遮断されたことにより、この帯域のパワーが特に前後方向に増加したことがわかった。また前後方向、左右方向のいずれにおいても開眼条件と閉眼条件の比較で低年齢群の4歳、5歳で有意差が認められなかった。この理由として、低年齢群では比較的視覚系の影響を受けにくいのか、それとも視覚系情報が遮断されたことによる前庭系および固有系機能の姿勢調節における代償作用が不十分であったことが考えられる。前者の場合、ロンベルグ率を表8、表9から検討すると低年齢群でも一定のロンベルグ率を示し、視覚系に依存していることがわかる。そのため、低年齢群で0.2～2.0Hzの帯域に有意な差が見られなかった理由として視覚系情報の不足を前庭系、固有系による代償機能がこの年齢段階では十分成立していなかったためであると推測される。

3. 単位面積軌跡長および単位面積軌跡長とパワースペクトルの関係について

大川ら (1995) の先行研究により、単位面積軌跡長は年齢と共に変化すること、面積や総軌跡長、ロンベルグ率などのパラメーターとは独立していること、直立姿勢制御の微細さとこれに関与する固有受容性姿勢制御の働きを示すパラメーターとして期待されている。大川ら (1995) は単位面積軌跡長は開眼条件と閉眼条件での値に差がない結果を得て、このことは開眼よりも閉眼で値が大きくなる動揺面積や総軌跡長とは異なることを指摘し、「単位面積軌跡長は開眼・閉眼にあまり影響を受けない、すなわち、視性の影響を受けにくいパラメーターである。」と結論づけている。しかし、本研究結果では、表6からわかるように全体として開眼条件の結果は閉眼条件のそれよりも値が大きい。なお、年齢と視覚条件（開眼・閉眼）による分散分析を行った結果では、年齢の主効果 ($F(12, 265) = 25.912, P < 0.01$) および視覚条件の主効果 ($F(1, 265) = 6.856, P < 0.05$) に有意差があり、年齢と視覚条件の交互作用には有意差がなかった。今回の結果からは、開眼条件と閉眼条件での値に明らかな差が生じた。すなわち、開眼による視覚性の要因が関与している可能性を示唆した。大川らの研究は、

表15 単位面積軌跡長とパワースペクトルの相関（開眼条件）

年齢	X 1	X 2	X 3	Y 1	Y 2	Y 3
4歳	-0.539	0.394	0.611	-0.548	0.251	0.728
5歳	-0.723	-0.226	0.597	-0.617	-0.196	0.724
6歳	-0.612	0.195	0.788	-0.549	0.173	0.761
7歳	-0.595	0.233	0.794	-0.435	-0.229	0.568
8歳	-0.687	-0.201	0.655	-0.451	0.193	0.626
9歳	-0.496	-0.234	0.719	-0.397	-0.356	0.716
10歳	-0.463	-0.139	0.599	-0.684	0.295	0.514
11歳	-0.683	0.203	0.476	-0.655	0.314	0.651
12歳	-0.794	0.194	0.632	-0.456	0.268	0.579
13歳	-0.611	-0.286	0.647	-0.517	0.491	0.469
14歳	-0.394	0.372	0.655	-0.497	-0.274	0.751
15歳	-0.591	0.211	0.721	-0.842	0.161	0.468
成人	-0.619	0.198	0.696	-0.549	0.231	0.584

X 1 : 0.02 ~ 0.2Hz X 2 : 0.2 ~ 2.0Hz X 3 : 2.0 ~ 9.98Hz
Y 1 : 0.02 ~ 0.2Hz Y 2 : 0.2 ~ 2.0Hz Y 3 : 2.0 ~ 9.98Hz

表16 単位面積軌跡長とパワースペクトルの相関（閉眼条件）

年齢	X 1	X 2	X 3	Y 1	Y 2	Y 3
4歳	-0.253	0.421	0.796	-0.534	0.142	0.819
5歳	-0.137	-0.334	0.774	-0.527	-0.010	0.711
6歳	-0.607	0.042	0.832	-0.516	0.141	0.775
7歳	-0.474	0.174	0.651	-0.267	-0.068	0.678
8歳	-0.423	-0.128	0.844	-0.450	0.005	0.820
9歳	-0.135	-0.331	0.753	-0.388	0.098	0.811
10歳	-0.314	-0.044	0.675	-0.727	0.320	0.813
11歳	-0.449	0.030	0.696	-0.559	0.113	0.610
12歳	-0.620	0.444	0.563	-0.232	0.030	0.499
13歳	-0.524	-0.284	0.613	-0.627	0.211	0.561
14歳	-0.483	0.356	0.734	-0.433	-0.064	0.803
15歳	-0.627	0.196	0.681	-0.361	0.031	0.422
成人	-0.469	0.273	0.726	-0.394	0.146	0.674

X 1 : 0.02 ~ 0.2Hz X 2 : 0.2 ~ 2.0Hz X 3 : 2.0 ~ 9.98Hz
Y 1 : 0.02 ~ 0.2Hz Y 2 : 0.2 ~ 2.0Hz Y 3 : 2.0 ~ 9.98Hz

対象者が年齢6歳から73歳までの計100名で、そのうち10歳未満4名、10～19歳31名とやや対象者数が少なかったこともあり、開眼条件と閉眼条件での差およびそのことから推測される単位面積軌跡長の意味については、今後さらに対象者の数を多くとることにより検討する必要がある。

次に、単位面積軌跡長とパワースペクトルの関係については表15（開眼条件）、表16（閉眼条件）に示した。表は、X軸（左右方向）とY軸（前後方向）における各周波数帯域（0.02～0.2 Hz, 0.2～2.0 Hz, 2.0～10.0 Hz）の面積比と単位面積軌跡長との相関を各年齢群において相関係数で示したものである。開眼、閉眼条件のいずれにおいても低周波数帯域ではX軸、Y軸で同一の傾向を示していないが、2.0～10.0 Hzの比較的高い周波数帯域では明らかに高い相関値を示している。これまでの研究によると、2.0 Hz以上の周波数帯域は固有系が関与すると報告されている。大川らは、さらに単位面積軌跡長がどの周波数と関係が強いかをみるために、周波数を8周波数帯域（0.02～0.1 Hz, 0.1～0.2 Hz, 0.2～0.4 Hz, 0.4～0.8 Hz, 0.8～1.0 Hz, 1.0～2.0 Hz, 2.0～5.0 Hz, 5.0～10.0 Hz）に区切って検討した。その結果、単位面積軌跡長の長い対象者は速い周波数のパワーが大きく、特に2.0～5.0 Hzパワーが大ききことを明らかにした。

単位面積軌跡長とパワースペクトルの関係について、本研究は大川らの先行研究とほぼ同様の結果を得た。大川らは「単位面積軌跡長は、姿勢制御の微細さを示す。」として、この微細な制御は固有感覚系の機能によるものと考えている。障害児・者の平衡研究との関連で考慮する場合、一般に精神遅滞、ダウン症、自閉性障害などにおいて乳幼児期からの筋緊張低下が指摘されており、固有系姿勢制御に発達の遅れと障害が認められている。そのため、単位面積軌跡長とパワースペクトルを相互に関連づけて検討することで、より詳細に固有系姿勢制御の診断と評価の可能性があるものと思われる。

4. ロンベルグ率について

開眼、閉眼という視覚条件による差については、先行研究と同様に、全ての年齢群で閉眼条件において、身体動揺ならびに標準偏差は増大するという結果を得た。この結果から平衡機能は、視覚系の働きが重要であることがわかる。さらに、ロンベルグ率を算出し、直立姿勢調節における視覚系関与度の年齢的变化および性差について検討した。

動揺面積におけるロンベルグ率について平林・田口（1985）は、4歳～29歳を5つに分けた年齢群で、加齢に伴いその比率は減少傾向を示すものの、ばらつきがあり年齢群間に有意な差はみられなかったと報告している。また、柳田（1986）は、4～15歳の間を5つの年齢群に分け、低学年（6～9歳）で、最も比率が大きいことを、さらに坂口（1989）は、4～28歳の間を6つの年齢群に分け、そのうち4～6歳群と成人群（20～28歳）との間で有意差が認められたものの、年齢による推移は明確ではないことを示唆している。

本研究の結果では、年齢群間に有意な差はなかったが、平林・田口の報告とは異なり、年齢が進むにしたがって増加傾向が見られ、15歳群で最大の値となった。しかし、成人群になると再び数値が下がっていることから、15歳群以降ある年齢を境に減少するものと思われる。一般に、ロンベルグ率の年齢に伴う減少傾向は、感覚系のなかでも前庭系、固有系機能が発達することにより、姿勢調節における視覚系機能の関与度が低くなるためといわれている。一方、低年齢の段階では視覚情報が姿勢調節に有効に働かず、幼児にとっては検査場面における周囲の視覚刺激により注意散漫となり身体動揺を増加させる要因になりやすいといわれている。今回の研究では、臨床研究に資する標準値を収集することを目的としているため、対象児はそれぞれ所属する校園において測定を実施した。そのため、検査環境は必ずしも同一ではなく、かつ周囲の視覚刺激の統制は十分ではないなどのことによって、開眼条件で身体動揺が大きくなり、その結果、低年齢群でロンベルグ率が低くなったということが考

えられる。

性差については、全体に男子の方が女子に比較して値が大きく、視覚系に依存する割合が大きいことが示唆された。また、男子は年齢に伴って増加し、特に15歳で数値が急増しているのに対して、女子は11歳まで増加傾向はみられるが、それ以降の年齢では減少している。この時期はそれぞれ思春期の時期に相当し、最も心身の発達の著しい時期と一致している。急激な身体発育および精神発達は姿勢調節における視覚系、前庭系、固有系の感覚統合にも影響を与え、思春期に視覚系依存度が変化し、それ以降再び成人の機能構造を獲得するものと推測される。

総移動距離におけるロンベルグ率について、平林・田口（1985）は、全年齢群ほぼ同一の値であったことを、また、坂口（1989）は各年齢群間で有意差はなく年齢差はないことを報告している。我々が得た結果でも、各年齢群間で有意な差はなく、どの年齢群もほぼ同一の数値を示した。また、性差についても明らかな男女差はみられなかった。

5. 記録時間60秒と30秒との関連性について

記録時間60秒と30秒の結果については、動揺面積、総移動距離において、開眼条件、閉眼条件のいずれにおいても高い相関が認められた。特に総移動距離においては、30秒の結果は60秒の結果のほぼ $1/2$ の値となっており、決定率も90%前後と極めて高い。従って、記録時間30秒の結果を得れば、60秒の結果の予測は可能であるといえる。動揺面積においては、30秒の結果は60秒の結果の $1/2$ の値よりも大きくなる場合が多かった。また、決定率も76%前後であり、総移動距離に比較すると低い数値を示した。これは、主にコンピュータの面積計算方法（動揺軌跡の始点と終点を結んで得られる図形の面積を算出）に起因しているものと考えられる。記録時間30秒の動揺面積を平衡機能の指標とする場合、上記の点を考慮する必要がある。

従来、重心動揺検査は、記録時間を60秒として、記録開始の前半30秒で動揺が大きく、後半30秒では比較的安定することが指摘されてきた。しかし、本研究では前半30秒の結果と、後半30秒を含めた60秒の結果との相関は高いものであった。以上のことから、重心動揺検査による平衡機能の評価は、なかでも総移動距離を測度とした場合、30秒間の記録でなし得る可能性が示唆された。先行研究においては、その多くが記録時間60秒で測定を行っているが、幼児および高齢者を対象とした小島・竹森（1980）、竹森・森山（1992）の研究では30秒で測定がなされている。今後、精神遅滞、肢体不自由など運動障害を伴う児童や成人を対象として研究を進めていく場合、また障害児のみならず健常児・者においても幼児や高齢者を対象とする場合には、それら対象児・者が検査の目的を理解し、60秒間注意を集中して直立姿勢を維持することはかなり難しいと思われる。できる限り身体的、精神的要因を排除し、よりの確に感覚運動機能としての平衡機能を評価するためには、検査時間は短い方がよいと考えられる。従って、重心動揺検査の記録時間については、平衡機能障害の精密検査を要する場合を除いて、30秒を基準とする方向で検討される可能性があるものと考えられる。

以上、各項目ごとに検討、考察をしたが、平衡機能の発達を標準化するためには、先行研究においても本研究においても対象児の総数が十分と言えない。重心動揺検査は周囲の照度を含めた視覚刺激、聴覚刺激、温度などの検査環境に影響を受けやすい側面もあるため、一定の検査環境を保障した上で、できる限り多くの対象児童について記録を蓄積していくことが今後の課題である。

児童の平衡機能の発達について

文 献

- 1) 五島桂子：重心動揺検査の検討ーコンピュータ分析における検査項目と正常値ー Equilibrium Res 45 4 1986.
- 2) 平林千春 田口喜一郎：小児の発達に伴う 重心動揺の定量的変動 Equilibrium Res 44 3 1985.
- 3) 廣畑孝行：平衡機能を規定する要因についての一考察 ー視覚障害児、聴覚障害児、健常児の比較検討を通してー 平成2年度 神戸大学教育学部内地留学研修報告書 1990
- 4) 小島幸枝 竹森節子：小児の身体平衡の発達についてー正常小児・起立位を中心にー耳鼻臨床 73 5 1980.
- 5) 松崎保弘：重心動揺からみたダウン症児の直立姿勢保持能力 特殊教育学研究 24 2 1986.
- 6) 丸田和夫 白倉卓夫 丸田外美江：重心動揺よりみた老年者の平衡機能に関する研究 理・作・療法 17 6 1983.
- 7) 中田英雄：重心動揺から見たみた視覚障害者の直立姿勢保持能力 姿勢研究 2 1982.
- 8) 日本平衡神経科学：重心動揺検査の基礎 Equilibrium Res 42 2 1983.
- 9) 大川 剛 時田 喬 柴田康成 小川 徹也 宮田英雄：重心動揺検査ー単位面積軌跡長の意義ーEquilibrium Res 54 3 1995.
- 10) 岡本 勉 後藤幸弘：乳児から幼小児にいたる歩行運動の筋電図学的解明 J.J.SPORTS SCI 3 8 1984.
- 11) 緒方登士雄：身体動揺からみた精神薄弱児の姿勢制御に関する研究 発達障害研究 1 3 1980.
- 12) 坂口正範：小児の重心動揺および頭部動揺の年齢的変動 Equilibrium Res 48 4 1989.
- 13) 竹森節子 森山春子：高齢者の身体の平衡 機能 Equilibrium Res 51 3 1992.
- 14) 時田 喬：起立姿勢維持における迷路の働きー迷路性筋緊張の検討ー 神経進歩18 4 1974.
- 15) 時田 喬：直立検査とその基礎ー直立制御 機構の解析ー Equilibrium Res 49 4 1990.
- 16) 和久田幸之助 柏木令子 松永 喬：重心動揺検査における基本的研究ー視覚の影響についてーEquilibrium Res 45 4 1986.
- 17) 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 岐阜大学医学部紀要 33 1985.
- 18) 柳田三洋子：小児のめまい平行障害に関する研究ー第二編 健常小児の重心動揺ー Equilibrium Res 45 4 1986.

