

原著論文

重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について
—小学生の重心動揺パターンと重心動揺値および体力テストの関係から—
Assessment of center of pressure pattern using center of pressure diagram
— Relationship between center of pressure and measurement values of center
of pressure, fitness tests in primary school children —

溝畑潤^{1,2)} 田路秀樹¹⁾
Jun Mizobata^{1,2)} Hideki Toji¹⁾

Abstract

The purpose of this study was to assess the four types of expansion pattern of center of pressure using center of pressure diagrams focusing on Japanese primary school children. The subjects were 178 (86 boys and 92 girls) students who were enrolled from first to six grades from primary school in Hyogo prefecture. The measurement values of center of pressure which calculated total locus length (LNG) and environment area (Env. Area) using Gravicorder (GS-7, ANIMA corporation). The expansion pattern of the center of pressure was classified into four types: 1) center type; 2) front and rear type; 3) right and left type; and 4) random type. The results indicated the ratio of center type was especially high in the upper grades showing a significant difference for boys and girls both under open-eye and close eye conditions. The average measurement values of total locus length per environment area (LNG/Env.area) under both conditions for boys and girls in the center type were higher than another types. There were no significant differences relationship between the expansion pattern of the center of pressure and fitness tests other than side step.

キーワード：重心動揺図，重心動揺パターン，小学生

center of pressure diagram, the expansion pattern of center of pressure,
primary school children

1. 緒言

直立姿勢における姿勢制御（以下直立能力と略す）を足圧中心動揺（Center of Pressure：以下COPと略す）から客観的に評価する方法に重心動揺がある（時田，2008，pp.1-12）。重心動揺は重心点の総移動距離（総軌跡長），軌跡の最外郭の面積（外周面積），実効値を半径と

した円の面積（実効値面積），各軸の最大幅における長方形の面積（矩形面積），開閉眼比（ロンベルグ率），周波数（パワースペクトル）などの重心動揺値により評価している。平沢・青木（1979）は，直立能力の経年変化について6歳から20歳までを発達期，20歳から50歳までを充実期，50歳以降を衰退期の三期に分類し，

1) 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科
2) 関西学院大学人間福祉学部

Graduate course of Human Science and Environment, University of Hyogo
School of Human Welfare Studies, Kwansai Gakuin University

加齢に伴う重心動揺面積（矩形面積）の変化を検討した結果、直立能力の発育期の曲線がスカモン（Scammon, 1930）の発達曲線の神経型に類似する事から、直立能力の発達には神経系の発育発達が重要な因子となっていることを示唆している。また、子どもを対象に重心動揺の経年変化を検討した研究では、開閉眼の重心動揺値（矩形面積、総軌跡長）が男女ともに4歳から9歳にかけて著しく発達するが、それ以降は成人と差がみられなくなると報告されている（中林, 1997；津山ほか, 2004；Usui et al, 1995；白井・平沢, 1991；大和ほか, 2001）。こうした先行研究から、重心動揺は幼少期から評価することが重要であると考えられる。

我が国の重心動揺に関する研究（以下重心動揺研究と略す）は、1960年代から医療・理学療法分野において、めまい・平衡障害などの臨床的な症例について報告がなされてきた（石川, 2016）。その後、1970年代に入ってから重心動揺計のデジタル化に伴い特別な専門的技術を必要とせず誰でも安全かつ簡便に測定が可能になり、1980年代には健康・体育・スポーツ分野でも幅広い年齢層を対象として重心動揺研究が数多く取り組まれてきた（白井ほか, 1996）。先行研究では子どもの重心動揺と静的および動的バランス能力の評価（後藤ほか, 2001；岩見ほか, 2009；Saito et al, 2001）、子どもの重心動揺と体力テストとの関係（真家, 2014；Shintaku et al, 2007；山崎・山内, 2011）、成人の重心動揺の特徴（牛山ほか, 2008）や高齢者の重心動揺と体力・運動能力の関係（泉ほか, 1998）、スポーツ選手の重心動揺と競技力、コンディショニングの関係（Imoo et al, 2013；川端ほか, 2004；溝畑, 2010；田中ほか, 1987）などが報告されてきた。

一方、重心動揺の評価方法には前述した重

心動揺値（総軌跡長、外周面積、実効値面積、矩形面積など）から評価する方法以外に、重心動揺計に記録されたXY座標による記録図（以下重心動揺図と略す）から前後左右動揺を視覚的に捉えて評価する方法がある。医療・理学療法分野では重心動揺値による評価と併せて、重心動揺図による評価をめまいや平衡機能障害の評価として採用している（石川, 2016）。時田（1990）は平衡障害の患者の重心動揺図から、一側迷路障害では左右動揺、両側迷路障害では前後動揺、パーキンソン病では微細な動揺または大きいびまん型動揺がみられたと報告するとともに、重心動揺値は重心動揺の性質の一部であり、重心動揺図の揺れを観察する事は極めて重要であると報告している。健康・体育・スポーツ分野においても重心動揺図から重心動揺値とは異なった重心動揺の特徴を見出せる可能性が考えられるが、これまでに重心動揺図による評価方法を用いた研究はほとんど見当たらない（Imoo et al, 2013；溝畑, 2010）。そこで本研究は、小学生は重心動揺の発達期にあり（平沢・青木, 1979）、中学年から高学年の重心動揺が成人とほぼ同様の安定性がみられる（中林, 1997）ことから、小学生の重心動揺に焦点を当て、重心動揺図による評価を4つのパターンに分類し、その重心動揺パターンの評価における経年変化の特徴や重心動揺値との関係、さらに体力テストの測定結果との関係を明らかにすることにより、重心動揺パターンの評価が小学生の静的バランス能力を評価しうる指標となるか検討した。

2. 方法

2.1 対象

対象者は兵庫県下のA小学校に在籍する1年生から6年生の児童生徒178名（男子86名、女子92名）を対象とした。性別および学年別

にみた開閉眼の重心動揺値（外周面積および総軌跡長）において、男女ともに学年間（1年生と2年生，3年生と4年生，5年生と6年生）に有意差がみられなかった（女子の1年生と2年生の閉眼の総軌跡長，5年生と6年生の開眼の総軌跡長を除く）為，1年生と2年生を低学年，3年生と4年生を中学年，5年生と6年生

を高学年に分類することとした（表1）。

対象者の保護者には事前に測定における安全性や得られたデータの個人情報保護について説明し，同意を得てから測定を実施した。なお本研究は，兵庫県立大学研究倫理委員会および関西学院大学・人を対象とする行動学系研究倫理委員会の承認を受けた。

表1 各学年における体格および重心動揺値の平均値および標準偏差

性別	学年	人数	開眼・重心動揺値						閉眼・重心動揺値					
			身長(cm)	p値	体重(kg)	p値	外周面積(cm ²)	p値	総軌跡長(cm)	p値	外周面積(cm ²)	p値	総軌跡長(cm)	p値
男子	1年生	16	118.6±7.6	ρ=0.305	21.2±2.2	ρ=0.023*	3.7±1.4	ρ=0.529	52.0±13.2	ρ=0.648	5.0±2.0	ρ=0.917	69.2±19.2	ρ=0.451
	2年生	14	121.1±5.4		23.4±3.1		3.3±2.0		49.8±12.4		5.1±2.3		75.2±23.7	
	3年生	10	125.1±4.8	ρ=0.002**	25.1±5.3	ρ=0.013*	3.8±2.5	ρ=0.123	49.1±19.2	ρ=0.329	4.9±3.5	ρ=0.315	65.5±20.6	ρ=0.424
	4年生	14	133.0±5.8		30.5±4.5		2.6±1.2		42.3±11.3		3.7±1.5		59.8±13.7	
	5年生	16	138.5±5.9	ρ=0.147	32.8±5.9	ρ=0.242	1.9±1.1	ρ=0.696	34.7±6.7	ρ=0.49	3.1±2.0	ρ=0.605	52.3±15.8	ρ=0.783
	6年生	16	142.0±7.0		36.6±11.5		1.8±1.0		37.5±14.4		2.8±0.8		50.8±16.3	
女子	1年生	15	117.2±5.1	ρ=0.107	21.8±3.8	ρ=0.175	3.8±3.7	ρ=0.215	51.0±16.9	ρ=0.341	4.7±2.8	ρ=0.263	73.6±17.3	ρ=0.04*
	2年生	16	120.5±5.7		23.6±3.2		2.5±1.5		45.7±13.6		3.6±2.4		60.2±17.3	
	3年生	14	124.6±5.7	ρ<0.001***	25.3±4.8	ρ=0.02*	2.1±1.6	ρ=0.615	37.7±11.9	ρ=0.751	3.0±1.9	ρ=0.97	54.1±15.8	ρ=0.684
	4年生	16	133.9±6.8		29.9±5.4		1.9±0.8		36.5±8.3		3.0±1.2		51.7±16.2	
	5年生	15	141.5±8.0	ρ=0.003**	34.1±7.8	ρ=0.019*	2.0±1.3	ρ=0.277	39.6±10.7	ρ=0.027*	2.3±1.1	ρ=0.944	48.9±12.9	ρ=0.212
	6年生	16	149.9±6.3		40.8±7.1		1.6±0.6		31.9±7.6		2.3±1.2		43.4±11.2	

(両側検定) * ρ<0,05 ** ρ<0,01 *** ρ<0,001

2.2 測定項目

1) 重心動揺の測定

重心動揺の測定にはアニメ株式会社製グラビコーダGS-7（JIS規格）を使用し，開閉眼の総軌跡長（cm）と外周面積（cm²）をそれぞれ測定するとともに，単位面積軌跡長（総軌跡長を外周面積で除した値）を算出した。

測定方法は，2006年平衡機能検査法診断基準化委員会（平衡機能検査基準化委員会，2006）の定めに従い，以下の測定手順で実施した。

- ①静かで明るさが均等な部屋において，音や視刺激による身体偏位が生じない条件で測定した。
- ②対象者の足底の中心が検査台上の基準点と一致するように直立させ，2メートル前方の目の高さに固定した視点を注視させた。
- ③閉足で自然に直立した姿勢をとらせ，重心動揺の安定性を確認した後，開閉眼の条件で各30秒間の計測を1回ずつ行った。

なお，身長は学年間に有意差がみられた為，白井ほか（1996）が作成した重心動揺値の身長補正の算出式（1）を用いて補正值を算出した上で分析に用いた。

補正值＝実測値×130÷身長……………（1）

2) 体力テスト

スポーツ庁の体力テスト（スポーツ庁，2018，pp.53-236）に準拠した8種目（握力，反復横跳び，20mシャトルラン，50m走，長座位前屈，上体起こし，ソフトボール投げ，立ち幅跳び）の測定を行った。また，測定結果は平成29年度体力・運動能力調査報告書（スポーツ庁，2018，pp.53-236）の各年齢（6歳から11歳）の全国平均値を基に握力，反復横跳び，20mシャトルラン，長座位前屈，上体起こし，ソフトボール投げおよび立ち幅跳びのTスコアを次式（2），50m走のTスコアを次式（3）により換算した。

Tスコア = 50 + 10 × (個人の記録 - 全国
 平均値) / 全国平均値の標準偏差・・・(2)

Tスコア = 50 + 10 × (全国平均値 - 個人
 の記録) / 全国平均値の標準偏差・・・(3)

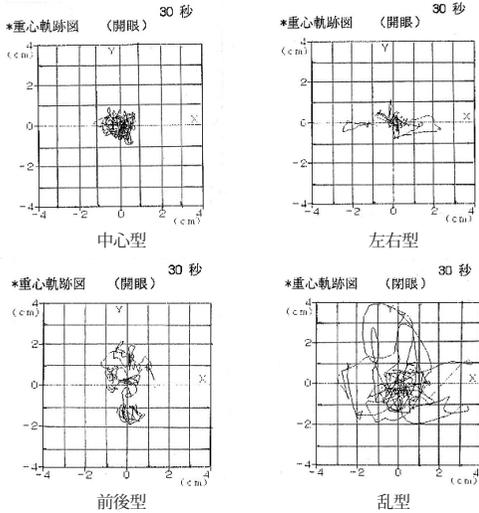


図1 重心動揺パターン

2.3 重心動揺パターンの定義

時田 (1990) の臨床的な重心動揺パターンを参考にして、重心動揺図を図1のようにXY軸の交点(中心点)よりそれぞれ1cmごとに線で区切り、中心点からXY軸方向に±2cm以内に集中している場合は中心型、中心点からX軸方向に±2cm以内、Y軸方向に±2cm以上に広がっている場合は前後型、中心点からY軸方向に±2cm以内、X軸方向に±2cm以上に広がっている場合は左右型、中心点からXY軸方向に±2cm以上に広がっている場合は乱型と定義し、4つに分類した(図1)。

2.4 統計処理

データの統計処理には統計解析ソフトSPSS for Windows (ver.24.0, IBM社製)を用いた。身体特性(身長, 体重), 重心動揺値および体力テストのTスコアは平均値および標準偏差で示した。身体特性(身長, 体重), 重心動揺値

における学年間(1年生と2年生, 3年生と4年生, 5年生と6年生)の平均値の差の検定は、対応の無い平均値の差の検定(t検定)を行った。また、各学年の開閉眼の重心動揺パターンの割合および重心動揺パターンと体力テストの関係は、ピアソンのカイ二乗検定を行い、有意差がみられた場合はボンフェローニの方法に従って多重比較検定と残差分析を行った。さらに開閉眼の各重心動揺パターンと単位面積軌跡長および体力テストの各種目(Tスコア)の平均値の差の検定は、一要因分散分析を行い、有意差がみられた場合はチューキーの方法に従って多重比較検定を行った。なお、統計的有意水準は5%未満とした。

3. 結果

3.1 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合について

表2に性別および学年別にみた開閉眼での重心動揺パターンの割合を示した。男女ともに開閉眼の重心動揺パターンにおいて学年間で有意差がみられた($p=0.01 - p=0.032$) 為、多重比較検定を行った結果、重心動揺パターンは開眼において男子は高学年と低学年($p=0.002$) および中学年($p=0.019$) との間、女子は高学年と低学年($p=0.015$) との間に有意差がみられた。また、閉眼では男女ともに高学年と低学年(男子; $p<0.001$, 女子; $p=0.008$) との間に有意差がみられた。さらに残差分析の結果、男子の高学年が開眼の中心型と閉眼の前後型の割合が他の学年よりも有意($p<0.05$)に高く、女子の低学年が開閉眼の乱型の割合が他の学年よりも有意($p<0.05$)に高かった。

3.2 重心動揺パターンと重心動揺値(単位面積軌跡長)の関係について

表3に開閉眼の重心動揺パターン別に単位面積軌跡長(単位面積あたりの軌跡長)の平均値

と標準偏差を性別に示した。男女ともに開閉眼の単位面積軌跡長に有意な重心動揺パターン差がみられた ($p < 0.001$)。多重比較検定を行った結果、男子は開閉眼ともに中心型と前後型(開眼; $p = 0.014$, 閉眼; $p = 0.009$) および乱型(開閉眼; $p < 0.001$) との間に有意差がみられた。女子は開眼の中心型と前後型 ($p = 0.010$) およ

び乱型 ($p < 0.001$) との間、閉眼の中心型と左右型 ($p = 0.007$) および乱型 ($p < 0.001$) との間に有意差がみられた。また、図2に単位面積軌跡長は高かったが、重心動揺パターンの評価が中心型ではなかった2名の重心動揺図を示した。3年生男子Aは閉眼の前後型、5年生女子Bは開眼の前後型であった。

表2 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合

	性別	学年	人数	中心型(相対値)	前後型(相対値)	左右型(相対値)	乱型(相対値)	$\chi^2(df)$	p値	多重比較検定: 学年間 (p値)
開眼	男子	低学年	30	10 (33.3%)	3 (10.0%)	3 (10.0%)	14 (46.7%)	16.854 (6)	$p = 0.01^*$	高学年 × 低学年 ($p = 0.002^{**}$) 高学年 × 中学年 ($p = 0.019^*$)
		中学年	24	10 (41.7%)	2 (8.3%)	1 (4.1%)	11 (45.8%)			
		高学年	32	25(78.1%)	3 (9.4%)	0 (0.0%)	4 (12.5%)			
	女子	低学年	31	17 (54.8%)	2 (6.5%)	0 (0.0%)	12 (38.7%)	13.824 (6)	$p = 0.032^{**}$	高学年 × 低学年 ($p = 0.015^*$)
		中学年	30	20 (66.7%)	5 (16.7%)	1 (3.3%)	4 (13.3%)			
		高学年	31	24 (77.4%)	3 (9.7%)	2 (6.5%)	2 (6.5%)			
閉眼	男子	低学年	30	3 (10.0%)	2 (6.7%)	4 (13.3%)	21 (70.0%)	24.063 (6)	$p = 0.01^*$	高学年 × 低学年 ($p < 0.001^{***}$)
		中学年	24	7(29.2%)	3 (12.5%)	1 (4.1%)	13 (54.2%)			
		高学年	32	13 (40.6%)	11 (34.4%)	0 (0.0%)	8 (25.0%)			
	女子	低学年	31	12 (38.6%)	3 (9.7%)	0 (0.0%)	16 (51.6%)	16.357 (6)	$p = 0.012^*$	高学年 × 低学年 ($p = 0.008^{**}$)
		中学年	30	11 (36.7%)	8 (26.7%)	2 (6.7%)	9 (30.0%)			
		高学年	31	21 (67.7%)	4 (12.9%)	2 (6.5%)	4 (12.9%)			

(両側検定) * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

表3 重心動揺パターン別にみた単位面積軌跡長の分散分析の結果

性別	開閉眼	重心動揺パターン	単位面積軌跡長 (cm/m ²) (平均値±標準偏差)	分散分析 F値 p値	多重比較検定: 重心動揺パターン間 (p値)	
男子	開眼	中心型 (n=45)	23.8 ± 8.0	13.11 $p < 0.001^{***}$	中心型 × 前後型 ($p = 0.014^*$) 中心型 × 乱型 ($p < 0.001^{***}$)	
		前後型 (n= 8)	15.7 ± 6.0			
		左右型 (n= 4)	15.8 ± 4.2			
		乱型 (n=29)	14.2 ± 4.9			
閉眼	閉眼	中心型 (n=23)	23.4 ± 10.0	8.39 $p < 0.001^{***}$	中心型 × 前後型 ($p = 0.009^{**}$) 中心型 × 乱型 ($p < 0.001^{***}$)	
		前後型 (n=16)	16.6 ± 5.2			
		左右型 (n= 5)	20.8 ± 4.9			
		乱型 (n=42)	15.3 ± 4.1			
女子	開眼	中心型 (n=61)	24.5 ± 7.1	18.99 $p < 0.001^{***}$	中心型 × 前後型 ($p = 0.01^*$) 中心型 × 乱型 ($p < 0.001^{***}$)	
		前後型 (n=10)	16.0 ± 2.4			
		左右型 (n= 3)	15.7 ± 4.2			
		乱型 (n=18)	13.5 ± 3.0			
	閉眼	閉眼	中心型 (n=23)	25.6 ± 7.3	12.28 $p < 0.001^{***}$	中心型 × 左右型 ($p = 0.007^{**}$) 中心型 × 乱型 ($p < 0.001^{***}$)
			前後型 (n=16)	22.3 ± 10.5		
			左右型 (n= 5)	12.8 ± 1.2		
			乱型 (n=42)	15.7 ± 5.8		

(両側検定) * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

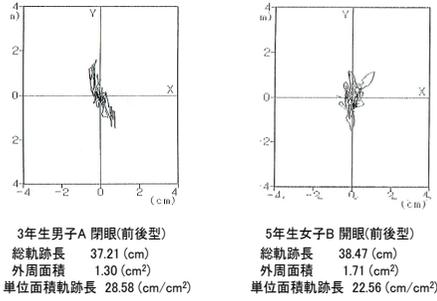


図2 3年生男子Aおよび5年生女子Bの重心動揺パターンの評価

3.3 重心動揺パターンと体力テストの関係について

表4に男女併せた体力テストの測定結果（Tスコア）を重心動揺パターン別に平均値および標準偏差を示した。反復横跳びにおいて、開眼の中心型と乱型との間に有意差（ $p<0.001$ ）がみられたが、その他の測定項目には有意差はみられなかった。表5に体力テスト8種目のTス

コアの平均値が50点以上の児童生徒群と50点未満の児童生徒群に分類し、開閉眼の重心動揺パターンを示した。その結果、体力テストのTスコアの平均値において、開閉眼ともに両群間に有意差はみられなかった。表6に8種目のTスコアの平均値±2SDである上位3名（A～C）と下位5名（D～H）の児童生徒の体力テストの測定結果と開閉眼の重心動揺パターンを示した。体力テストの測定結果の上位3名はすべて中学年の男子であった。開閉眼の重心動揺パターンは2名が開閉眼ともに中心型、1名が開閉眼ともに乱型であった。また、体力テストの測定結果の下位5名の学年は低学年1名、中学年3名、高学年1名、性別は男子2名、女3名であった。開閉眼の重心動揺パターンは3名が開閉眼ともに乱型、1名が開閉眼ともに中心型、1名が開閉眼ともに前後型であった。

表4 重心動揺パターン別にみた体力テストのTスコアの平均値および標準偏差

開閉眼	重心動揺パターン	握力・平均 (kg)	上体起こし (回)	長座体前屈 (cm)	反復横跳び (回)	10mシャトルラン (回)	50m走 (秒)	立ち幅跳び (cm)	ソフトボール投げ (m)
開眼	中心型 (n=67)	46.2±10.5	44.7±10.7	46.9±9.0	47.1±9.7	48.0±7.4	50.2±7.5	48.4±9.4	47.3±8.8
	前後型 (n=31)	40.6±7.3	42.2±10.5	43.7±11.2	42.3±11.5	46.0±7.2	50.8±7.4	47.0±11.1	45.6±6.8
	左右型 (n=9)	44.4±7.6	44.5±9.4	51.2±13.9	48.9±5.2	48.5±9.1	46.2±10.4	48.5±6.8	47.5±9.2
	乱型 (n=71)	44.3±9.5	42.8±10.1	43.1±9.1	39.0±13.3	46.0±9.5	47.8±10.9	48.5±11.2	45.2±10.4
閉眼	中心型 (n=67)	46.9±10.5	45.0±11.0	47.0±9.4	48.9±8.7	48.7±7.4	50.3±6.9	49.3±9.5	48.1±9.3
	前後型 (n=31)	42.7±9.6	40.6±12.6	44.4±10.6	45.8±9.3	46.2±5.6	50.6±9.0	47.1±10.3	46.7±7.3
	左右型 (n=9)	43.9±12.8	46.3±12.6	49.0±10.6	46.2±10.1	51.6±6.7	45.6±8.8	47.5±11.2	44.9±9.0
	乱型 (n=71)	44.5±10.0	44.1±9.7	44.8±9.3	39.8±12.8	45.9±9.3	48.7±9.9	48.0±10.1	45.3±9.5

(両側検定) *** $p<0.001$

表5 体力テスト（8種目）のTスコアの平均値と重心動揺パターンの割合

開閉眼条件	重心動揺パターン	体力テスト(8項目)のTスコアの平均値		χ^2 (df)	p値
		50点以上 (n=49)	50点未満 (n=129)		
開眼	中心型	33 (67.3%)	73 (56.6%)	4.347 (3)	$p=0.226$
	前後型	2 (4.1%)	16 (12.4%)		
	左右型	3 (6.1%)	4 (3.1%)		
	乱型	11 (22.4%)	36 (27.9%)		
閉眼	中心型	22 (44.9%)	45 (34.9%)	3.505 (3)	$p=0.32$
	前後型	7 (14.2%)	24 (18.6%)		
	左右型	4 (8.2%)	5 (3.9%)		
	乱型	16 (32.7%)	55 (42.6%)		

表6 体力テストのTスコアの平均値±2SDの児童生徒の測定結果と開閉眼の重心動揺パターン

氏名	体力テスト 順位	学年	性別	開眼 重心動揺パターン	閉眼 重心動揺パターン	握力・平均 (kg)	上体起こし (回)	長座体前屈 (cm)	反復横跳び (回)	20mシャトルラン (回)	50m走 (秒)	立ち幅跳び (cm)	ソフトボール 投げ(m)	Tスコア 合計	Tスコア 平均
A	1	中学年	男	中心型	中心型	76.6	58.0	48.4	49.6	52.7	58.7	68.9	70.3	483.1	60.4
B	2	中学年	男	中心型	中心型	63.4	54.4	49.7	52.3	56.2	56.0	73.7	71.8	477.6	59.7
C	3	中学年	男	乱型	乱型	56.9	65.1	48.4	55.1	65.2	58.7	56.6	60.1	466.1	58.3
D	174	中学年	男	乱型	乱型	27.4	43.7	45.7	22.4	33.2	22.7	50.8	34.0	279.8	35.0
E	175	中学年	女	前後型	前後型	26.5	23.4	22.0	37.0	45.0	59.7	25.6	39.5	278.6	34.8
F	176	高学年	男	中心型	中心型	34.4	35.2	43.0	33.6	31.4	35.6	28.8	30.1	272.1	34.0
G	177	低学年	女	乱型	乱型	31.8	41.4	30.9	22.2	39.4	42.5	35.5	25.6	269.3	33.7
H	178	中学年	女	乱型	乱型	33.2	24.9	30.7	23.5	33.3	7.1	50.3	40.7	243.7	30.5

4. 考察

4.1 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合について

本研究は小学生の重心動揺について、重心動揺図の前後左右動揺を視覚的に捉えて4パターンに分類し、評価したものである。子どもを対象にした重心動揺研究では、柳田(1986)が4歳から15歳までを対象に重心動揺の経年変化について検討し、男女ともに開閉眼の単位軌跡長および外周面積が小学生の中学年を境に減少が緩やかになったと報告している。また、中林(1997)は4歳から15歳の男女と22歳から44歳までの成人男女の重心動揺を比較検討し、開閉眼の動揺面積(矩形面積)と総軌跡長が男女ともに4歳から9歳にかけて著しい発達が見られ、その後10歳から12歳かけて成人との差が見られなくなったと報告している。さらに、大和ほか(2001)は小学1年生から6年生の重心動揺について検討し、開閉眼の総軌跡長と外周面積が男女ともに1年生から3年生にかけて漸次減少し、4年生から6年生まではほぼ同様の値を示したと報告している。これらの先行研究から、重心動揺は男女ともに小学生中学年から高学年にかけて安定性が高まると考えられる。本研究においては、開眼の重心動揺パターンが男子は高学年と低学年および中学年との間に、女子は高学年と低学年との間に有意差がみら

れ、閉眼の重心動揺パターンは男女ともに高学年と低学年の間に有意差がみられた(表2)。従って、本研究の重心動揺パターンの評価においても間接的に先行研究と同様に重心動揺の発達の経年変化を示しているといえる。一方、本研究の重心動揺パターンの評価も先行研究と同様に横断的評価である為、今後は個人の重心動揺パターンを縦断的に評価することによって、個人の重心動揺の発達の経年変化について検討する必要がある。

4.2 重心動揺パターンと重心動揺値の関係について

重心動揺パターンと単位面積軌跡長の関係について検討した結果、男女ともに開閉眼の中心型の単位面積軌跡長が他の重心動揺パターンよりも有意に高く、男子は開閉眼の中心型と前後型および乱型との間、女子は開閉眼の中心型と乱型、開眼の中心型と前後型、閉眼の中心型と左右型との間に有意差がみられた(表3)。

単位面積軌跡長は単位面積当たりの軌跡長の値で、重心動揺における姿勢制御の微細さを示し、深部感覚系制御機能の関与が大きく影響しているといわれている(大川ほか, 1995)。単位面積軌跡長が大きいという事は、狭い動揺面積に対して微細に姿勢制御を繰り返すことで立位姿勢の安定性を高めようとするこ

を意味し、重心動揺パターンの評価では中心型がそれに該当する。逆に単位面積軌跡長が小さいという事は、広い動揺面積に対してゆったりとした姿勢制御が行われることを意味し、重心動揺パターンの評価では前後型、左右型および乱型がそれに該当する。すなわち本研究の重心動揺パターンの評価は、総軌跡長と外周面積から算出される単位面積軌跡長の評価を反映するものと考えられる。

一方、図2に示したように単位面積軌跡長が優れていても重心動揺パターンが中心型以外の評価になるケースもみられた。単位面積軌跡長は外周面積に対する総軌跡長の割合を表す指標であるが、重心動揺の「拡がり」までは把握することはできない。従って、本研究の重心動揺パターンの評価は、重心動揺値では判明できない重心動揺の「拡がり」から重心動揺を評価できると考えられる。

4.3 重心動揺パターンと体力テストの関係について

体力テストの測定結果を標準化して男女併せて重心動揺パターン別に検討した結果、反復横跳びにのみ開眼の中心型と乱型との間に有意差がみられた(表4)。反復横跳びは敏捷性の指標として体力テストに採用され、男子では14歳、女子では13歳頃までに急激な向上を示す(スポーツ庁, 2018, pp.53-236)。敏捷性は動作の素早さと正確さの両要素に関与する能力として動きの切り替え、バランス、スピードおよび加速が評価される(田中ほか, 2012, p40)ことから、反復横跳びは神経系の発達を評価する指標であるといえる。真家(2014)は小学生低学年の開眼の重心動揺値(単位時間軌跡長, 外周面積, 単位面積軌跡長)と体力テスト5種目(反復横跳び, 20mシャトルラン, 50m走, 立ち幅跳び, ソフトボー

ル投げ)の関係について検討した結果、全ての学年の男女の単位時間軌跡長と外周面積は反復横跳びと有意な負の相関関係を示したと報告し、敏捷性が重心動揺の発達に関与していることを示唆している。このことは反復横跳びの優れていた児童の重心動揺は、軌跡長が狭い範囲で動揺を繰り返していたことを意味し、本研究の重心動揺パターンの中心型に該当すると考えられる。真家(2014)の対象は低学年のみであったが、本研究は男女の低、中および高学年の体力テストを全て併せた結果であり、従って学年に関係なく開眼の中心型の反復横跳びが乱型よりも優れており、敏捷性が重心動揺の発達に関与する可能性が示唆された。他方、直立能力と自律神経の関係について、木村(2011)は若年者(21歳から39歳)と高齢者(64歳から82歳)男女の心拍変動と重心動揺との関係について比較検討し、高齢者群に比べて若年者群の心拍変動が有意に大きく、さらに重心動揺が安定していたと報告し、重心動揺の安定性に神経的な要因が関与する可能性を示唆している。木村(2011)の研究は小学生を対象にしていない為、現時点では小学生の重心動揺と自律神経との関係については明らかにできないが、本研究においても反復横跳びと重心動揺パターンに有意差がみられたことから、直立能力の発達には神経系の発達が重要な因子であると考えられ、今後の検討課題としたい。

次に開閉眼の重心動揺パターンと体力テスト(8種目)のTスコアの平均値が50点以上と50点未満の2群に分けてその特徴を検討した。その結果、開閉眼の重心動揺パターンともに両群間に有意な差はみられなかった(表5)。重心動揺値と体力テストの関係についてShintaku et al(2007)は、5歳児の開眼の総軌跡長と体力テスト(開眼片足立ち, 片脚連

続跳び、反復横跳び、25m走および立ち幅跳び)の関係について検討し、総軌跡長の短かったグループの開眼片足立ち、片脚連続跳びおよび反復横跳びが総軌跡長の長かったグループよりも優れていたことから、体力テストの優劣が重心動揺の安定性に影響していることを示唆している。また、杉林ほか(2011)は男子中学生の開眼の重心動揺値(外周面積、単位面積軌跡長)と50m走および立ち幅跳びの測定結果との間に有意な相関関係がみられたと報告している。これらの先行研究は体力テストの測定結果が重心動揺の評価に関係することを示唆しているが、本研究とは異なった結果を示した。さらに体力テストのTスコアの平均値±2SDである児童生徒の開閉眼の重心動揺パターンについても検討した。その結果、上位3名(+2SD)中1名が開閉眼ともに乱型、下位5名(-2SD)中2名が開閉眼ともに中心型または前後型であった(表6)。体力テスト順位が上位(3位)で開閉眼ともに乱型だったCは、筋力、筋持久力および全身持久力を評価する上体起こし、20mシャトルランおよびソフトボール投げのTスコアが60点を上回り、さらに体力テストの順位が下位(176位)で開閉眼ともに中心型だったFの立ち幅跳びは30点を下回っていた。直立能力に関与する感覚系(視覚、前庭感覚および体性感覚)のうち体性感覚系は、固有感覚である筋紡錘とゴルジ腱器官、関節受容器、皮膚感覚を司り、支持面に対する身体の位置と動き、それに身体各セグメントの関係を検知する役割を担っている。そして、体性感覚から得られた情報をもとに中枢神経が目的に見合った運動指令により筋活動を調整することで姿勢制御が達成される(大築ほか, 2011, pp51-69)。その為、直立能力には筋力、筋持久力および全身持久力のようなダイナミックなパワーやスタ

ミナを必要としないと考えられる。また、宮下ほか(1991, pp12-13)は年齢と体力・運動能力の発達について、小学校高学年までは神経系の発達により敏捷性が向上し、小学校高学年から中学校までは筋肥大および呼吸循環機能の発達により筋持久力および全身持久力を向上し、高校生段階では力強さとねばり強さが完成に近づく為、筋力が向上すると報告している。以上のことから、小学生の開眼の重心動揺は敏捷性と関与するが、開閉眼の重心動揺は筋力、筋持久力および全身持久力に影響を及ぼさないことが示唆された。

5.まとめ

本研究は重心動揺図を4つのパターンに分類(中心型、前後型、左右型および乱型)し、小学生の重心動揺パターンの学年別の特徴、重心動揺値および体力テストの関係について検討し、以下の結果が得られた。

- 1) 学年別の開閉眼の重心動揺パターンの割合は、開眼において男子は高学年と低学年および中学年との間、女子は高学年と低学年との間に有意差がみられ、閉眼では男女ともに高学年と低学年との間に有意差がみられた。
- 2) 開閉眼の重心動揺パターン別の単位面積軌跡長は、男女ともに有意な重心動揺パターン差がみられた。
- 3) 単位面積軌跡長が優れていても重心動揺パターンが中心型以外の評価になるケースもみられた。
- 4) 重心動揺パターン別の体力テスト(Tスコア)において、反復横跳びのみ開眼の中心型と乱型との間に有意差がみられた。
- 5) 体力テストの評価と重心動揺パターンの関係について検討した結果、重心動揺パターンの評価と筋力、筋持久力および全

身持久力に有意な関係性はみられなかった。

以上の事から本研究の重心動揺パターンは、小学生の重心動揺の発達を重心動揺図によって評価できること、および小学生の重心動揺は敏捷性が関与するが、筋力、筋持久力および全身持久力には影響を及ぼさないことが示唆された。

なお、本研究の一部は日本体育学会第 67 回（大阪体育大学）において発表した。

自己申告：著者全員が利益相反はない

6. 文献

- 後藤洋子・早川ひろみ・脇田裕久（2001）幼児の静的バランス能力. 三重大学教育学部研究紀要, 52 : 53-63.
- 平沢弥一郎・青木賢一（1979）日本人の直立能力について. 人類誌, 87 : 81-92.
- 平衡機能検査基準化委員会（2006）平衡機能検査法診断基準化のための資料. *Equilibrium Research*, 65 : 468-503.
- Imoo, Y., Takemura, M., Furukawa, T., Shimasaki, T., Ogaki, R., and Miyakawa, S. (2013) Standing balance ability of Japanese collegiate rugby union players with past cervical injuries. *Football science*, 10:1-9.
- 石川和夫（2016）姿勢研究の黎明から重心動揺計出現と臨床応用までの歴史. *Equilibrium Research*, 75:127-134.
- 岩見文博・阿部千春・加藤英世・万年宏美・石野晶子・大久保良彦・片桐朝美・林幹泰（2009）幼児における重心動揺量に関する基礎的検討. 杏林医学会誌, 40 : 19-23.
- 泉キヨ子・平松和子・山上和美（1998）高齢者の転倒予防に関する研究—重心動揺と歩行分析を通して—. 金大医保紀要, 22 : 139-145.
- 川端悠・鈴木省三・佐藤佑（2004）スポーツ種目別にみたバランス能力特性. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科研究論文集, 5 : 103-110.
- 木村哲也（2011）立位バランス制御機構に対する自律神経系の関与—加齢に伴う自律神経活動低下の影響—. 第 26 回健康医科学研究助成論文集, 41-48.
- 真家英俊（2014）小学校低学年児童における静的立位姿勢保持能力と運動能力との関係. 東京未来大学研究紀要, 7 : 157-164.
- 宮下充正・小林寛伊・武藤芳照（1991）子どものスポーツ医学. 南江堂, pp.12-13.
- 溝畑潤（2010）高校生ラグビー選手の重心動揺について. 大阪体育学研究, 48 : 139-145.
- 中林稔堯（1997）児童の平衡機能の発達について—重心動揺検査を通して—. 神戸大学発達科学部研究紀要, 4 : 1-21.
- 大川剛・時田喬・柴田康成・小川徹也・宮田英雄（1995）重心動揺検査—単位面積軌跡長の意義—健常者における検討. *Equilibrium Research*, 54 : 296-306.
- 大築立志・鈴木三央・柳原大（2011）姿勢の脳・神経科学—その基礎から臨床まで—. 市村出版, pp.51-69.
- Saito, M., Hirayama, M. and Takaishi, M. (2001) Evaluation of equilibrium function on primary school children. *Japan J. School Health.*, 42:167-169.
- Scammon RE (1930) The measurement of the body in children. In: Harris JA, Jackson CM, Paterson DG, et al. Eds., *The Measurement of Man*, The university of Minnesota press, pp.173-193.
- Shintaku, Y., Fujinaga, H. and Yabe, K. (2007) Performance of dynamic motor tasks in 5 years

- old children with different of static standing balance. *International Journal Fitness*, 3 :61-67.
- スポーツ庁 (2018) 平成 29 年度体力・運動能力調査報告書. スポーツ庁 . pp.53-236
- 杉林孝法・大森重直・清水都 (2011) 男子中学生における基礎的運動能力と重心動揺の関係. *金沢星稜大学*, 4 : 59-62.
- 田中喜代次・木塚朝博・大蔵倫博 (2012) 健康づくりのための体力測定評価法. *金芳堂*, pp.37-43.
- 田中秀幸・上口孝文・飯田颯男・高木長之助・松浦義行・吉岡剛・武内政幸・西島尚彦 (1987) 大学柔道選手の直立姿勢保持能力について. *武道学研究*, 20 : 145-146.
- 時田喬 (1990) 直立検査とその基礎—直立制御機構の解析—. *Equilibrium Research*, 49 : 367-377.
- 時田喬 (2008) 重心動揺検査. *アニマ株式会社*, pp.1-12.
- 津山薫・大和眞・榎本静香・角清一・清田寛 (2004) 小学生の重心動揺に関する研究—総軌跡長, 外周面積を指標として—. *日本体育大学紀要*, 1 : 37-45.
- 牛山潤・政二慶・松村憲・奥山静代・村山光義・佐々木玲子 (2008) 様々な重心動揺指標を用いた本塾塾生の平衡機能の評価. *体育研究所紀要*, 47 : 13-24.
- 臼井永男・平沢弥一郎 (1991) 小学校児童の直立時安定保持能力の発達について. *放送大学研究年報*, 9 : 41-49.
- Usui, N., Maekawa, K. and Hirasawa, Y. (1995) Development of the upright postural sway of children. *Development medicine and child neurology*, 37: 985-996.
- 臼井永男・渡邊功・竹内宏一 (1996) 1980 年代、本邦における姿勢研究の動向について. *放送大学研究年報*, 14 : 1-18.
- 大和眞・武田基一・谷浩充・菅田真理・池田綾・津山薫・高田良平・千葉裕美子・酒井健児・清田寛 (2001) 児童の平衡機能に関する基礎研究—重心動揺の経年変化について—. *日本体育大学体育研究所雑誌*, 1 : 47-53.
- 山崎省一・山内武巳 (2011) 児童・生徒の運動嫌いが重心動揺に及ぼす影響. *石巻専修大学研究紀要*, 22 : 7-12.
- 柳田三洋子 (1986) 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 Research*, 45 : 332-344.
- (2019 年 7 月 30 日受付, 2019 年 10 月 1 日受理)