

原著論文

小学校4年生の静止立位姿勢の足圧中心動揺における 試行間および日内間信頼性の検討

Examination of Intra-trial and intra-day reliability for the center of foot pressure in static standing posture of fourth grade primary school students.

溝畑 潤¹⁾ 小山 廣司²⁾ 田路 秀樹³⁾

Jun MIZOHATA¹⁾ Hiroshi KOYAMA²⁾ Hideki TOJI³⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine intra-trial and intra-day reliability of measurement variables for the center of foot pressure (COFP) in static standing posture of fourth grade primary school students. The subjects were 14 boys and 16 girls who were fourth grade primary school students in Hyogo prefecture, Japan. Sixteen measurement variables of COFP were calculated using Gravicorder (GP-5000, ANIMA corporation). The measurement variables of COFP were calculated while they stood on the examining table for thirty seconds under open and closed eye conditions, measured three times with a minute rest between each measurement, and on a separate day once in the morning and once in the afternoon for each subject.

The results indicated that intra-class correlation coefficients more than 0.7 for three times measurements were 5 variables under open eye condition and 8 variables under closed eye condition in 16 variables. Under open eye condition, six variables showed additive errors and nine variables showed proportional errors in the intra-day comparison.

In conclusion, we suggest that it is reasonable to use the first trial as a representative value for the measurement of COFP, and intra-day reliability of measurement variables COFP under close eye condition were superior than under open eye condition in the fourth grade primary school students.

キーワード：小学校4年生, 足圧中心動揺, 信頼性

Fourth grade primary school students, The center of foot pressure, Reliability

1. 緒言

我々人間にとって静止立位姿勢はあらゆる動作の基本姿勢といえる(平沢, 1979)。人間は静止立位姿勢を保持する為、主に視覚系、前庭感覚系および体性感覚系の感覚情報をもとに、

得られた情報を大脳および小脳の中枢神経に伝達し適切な運動指令が生成する。その結果、骨格、筋肉などの効果器が機能し姿勢制御を繰り返し行っている(神崎, 2012; 大築ほか, 2011)。また、静止立位姿勢を保持する能力(以

1) 関西学院大学
2) 関西学院初等部
3) 兵庫県立大学

Kwansei Gakuin University
Kwansei Gakuin Elementary School
University of Hyogo

下、直立姿勢能力とする)の発達過程は6歳から20歳までを発達期、20歳から60歳までを充実期、60歳以降を衰退期として分類されている(平沢・青木, 1979)。しかし、現代社会における生活環境の変化に伴う子どもの身体的発達能力は体力・運動能力の低下に留まらず、身体の歪みや直立姿勢能力の低下、転倒による怪我の増加など直立姿勢能力に関与する身体機能の発達にも大きな影響を及ぼしている(正木, 2000)。

直立姿勢能力を客観的に評価する方法の一つに足圧中心動揺がある。足圧中心動揺の評価で使用される重心動揺計は、検査台上に静止立位姿勢で開閉眼状態をそれぞれ30秒から1分ほど維持するだけで簡便かつ安全に測定する事が可能である(時田, 1990)。その為、直立姿勢能力を評価する研究において幅広い年齢層に利用されている(石川, 2016; 臼井ほか, 1996)。先行研究から、健常者の男女では9歳頃までに開閉眼の動揺距離(軌跡長)および動揺面積(矩形面積, 外周面積)が著しく減少することから、男女共に9歳頃から開閉眼の直立姿勢能力の発達が顕著であることが報告されている(中林, 1997; 津山ほか, 2004; Usui et al., 1995; 臼井・平沢, 1991; 大和ほか, 2001, 溝畑・田路, 2019)。従って、足圧中心動揺から子どもの直立姿勢能力を客観的に評価すれば、学校教育現場などで有用な指標になる可能性が考えられる。その為には測定値の再現性や午前と午後の測定による日内間信頼性について検討する必要がある(内山ほか, 2012)。

出村ほか(2001)は成人男女を対象にして開閉眼の足圧中心動揺の測定連続10試行による試行間信頼性について検討し、76変数のうち60変数の試行間信頼性が高かったと報告している。また10試行のうち第1試行目を除いた第2試行目または第3試行目の信頼性係数(以下ICCと略す)が0.7以上であったことから、第1試行目を除いた第2試行目または第3試行目を代表値とするべきとも報告している。山次ほか(2001)は出村ほか(2001)が有効とした開閉眼の足圧中心動揺60変数の5日間の

測定から日間信頼性について検討し、試行間信頼性の高い変数の多くは日間信頼性も高かったことを報告している。しかし、これらの研究は成人男女を対象にして開閉眼のみの足圧中心動揺変数について検討した報告であり、開閉眼の子どもの足圧中心動揺変数については検討されていない。他方、足圧中心動揺を評価した先行研究では総軌跡長(重心点の総移動距離)、単位軌跡長(1秒当たりの軌跡長)、外周面積(軌跡の最外郭の面積)、矩形面積(軌跡の最大幅の長方形の面積)、単位面積軌跡長(総軌跡長/外周面積)のいずれかの足圧中心動揺変数によって評価されている。学校教育現場などで足圧中心動揺変数から直立姿勢能力を評価する場合においても、動揺距離と動揺面積に限定して分かり易く評価することが重要であるとも考えられるが、これまで評価指標として採用されなかった振幅分布、中心位置、速度などの変数についても検討すべきである。そこで本研究は開閉眼の足圧中心動揺が著しく発達すると報告される9歳および10歳である小学校4年生男女に着目し、足圧中心動揺変数のうち距離変数、面積変数、振幅分布変数、中心位置変数および速度変数に関連した16変数における試行間および日内間信頼性について検討した。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は兵庫県下の健康な小学4年生の男女30名(男子14名:年齢 9.71 ± 0.47 歳, 身長 129.43 ± 5.54 cm, 体重 27.83 ± 4.08 kg, 女子16名:年齢 9.75 ± 0.45 歳, 身長 129.78 ± 5.31 cm, 体重 27.30 ± 4.19 kg)であった。被験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、保護者からの同意を得てから測定を実施した。なお本研究は、兵庫県立大学倫理委員会(承認日2015年5月22日, 受付番号120)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(承認日2015年7月7日, 受付番号2015-14)の承認を受けた。

2.2 足圧中心動揺の測定

1) 足圧中心動揺変数

足圧中心動揺変数にはアニマ社製ポータブルグラフィコーダ GP-5000 を使用した。子どもの足圧中心動揺における研究では動揺距離および動揺面積が採用されているが、本研究は先行研究（出村ほか，2001）から試行間信頼性が高かった距離変数，面積変数，振幅分布変数，中心位置変数および速度変数に着目した。すなわち距離変数から総軌跡長（cm），単位軌跡長（cm/sec），左右軌跡長（cm），前後軌跡長（cm），面積変数から外周面積（cm²），矩形面積（cm²），実効値面積（cm²），単位面積軌跡長（総軌跡長（cm）/外周面積（cm²）），振幅分布変数から左右最大振幅（cm），前後最大振幅（cm），中心位置変数から左右動揺中心変位（cm），前後動揺中心変位（cm），速度変数から右方向動揺速度の平均（cm/sec），左方向動揺速度の平均（cm/sec），前方向動揺速度の平均（cm/sec），後方向動揺速度の平均（cm/sec）の計 16 変数を選択した。

2) 測定手順

足圧中心動揺の測定は日本平衡神経科学会，平衡機能検査基準化委員会（日本平衡神経科学会，2006）が定めた環境を設定した。測定に際しては，最初に被験者を検査台後方に置いた椅子に着席させ，リラックスした状態であることを確認した後，検査台上に閉足の直立姿勢をとらせた。被験者の手の位置（両腕が体側に接している），視線の位置（2m 前方の目の高さに固定した視点を注視している），直立姿勢の安定を確認した後，開閉眼条件をそれぞれ 30 秒間測定した。測定は 1 分間の休息を挟み 3 回連続で実施した。なお休息時は検査台上の足の位置が変わらないようにして椅子に座らせた。測定は午前 9 時から 15 時の間に実施し，別日の午前（9 時から 11 時）と午後（13 時から 15 時）にも 1 回ずつ実施した。

3) 身長補正

被験者の重心高を一定にする為，先行研究より以下の算出式を用いて足圧中心動揺変数を補

正した（白井ほか，1996）。

補正值（cm，cm²，cm/cm²，cm/sec）＝実測値（cm，cm²，cm/cm²，cm/sec）×130÷身長（cm）

2.3 統計処理

データの統計処理には統計解析ソフト SPSS Version 26.0（IBM 社製）を使用した。足圧中心動揺変数における試行間信頼性は ICC より検討し，0.7 以上であれば信頼性係数が高いと評価した（今井・瀬見，2004）。なお ICC は次式により算出した。

$$ICC = (\text{全分散} - \text{誤差分散}) / \text{全分散}$$

3 試行間の試行間差は対応のある一要因分散分析を行い，有意差が認め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を行った。日内間信頼性は Bland-Altman 法（Bland and Altman，1986）による Limits of agreement を検討した。すなわち午前と午後の測定値の差から 95% 信頼区間を算出し，区間内に 0 を含まない場合は加算誤差が認められたと判断し，午前と午後の測定値の差と平均値から相関係数を算出し，有意な相関認められた場合は比例誤差が認められたと判断した。

なお本研究の有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

3.1 試行間信頼性と試行間差について

表 1 と表 2 に開閉眼の足圧中心動揺変数における試行間信頼性と試行間差を示した。開眼において ICC が 0.7 以上だった変数は総軌跡長（開眼：0.75），単位軌跡長（0.75），前後総軌跡長（0.80），左右動揺中心変位（0.76）および前後動揺中心変位（0.76）であった。試行間差では外周面積，矩形面積，単位面積軌跡長，前後最大振幅および前方向動揺の平均速度に有意差がみられた。多重比較検定の結果，外周面積が第 1 試行目と第 3 試行目，第 2 試行目と第 3 試行目との間，それ以外の変数では第 2 試行目と第 3 試行目間との間に有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。

閉眼において ICC が 0.7 以上だった変数は総軌跡長（0.77），単位軌跡長（0.77），左右軌

跡長 (0.70), 前後軌跡長 (0.79), 単位面積軌跡長 (0.75), 前後動揺中心変位 (0.80), 前方向動揺の平均速度 (0.76) および後方向動揺の平均速度 (0.77) であった。試行間差では単位面積軌跡長と前後最大振幅に有意差がみられ

た。多重比較検定の結果, 単位面積軌跡長は第1試行目と第2試行目との間, 前後最大振幅は第1試行目と第2試行目との間および第1試行目と第3試行目との間に有意差がみられた ($p<0.05$)。

表1 開眼の足圧中心動揺変数における試行間信頼性と試行間差

重心動揺値	ICC	第1試行		第2試行		第3試行		多重比較検定	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	F値	試行間
総軌跡長 (cm)	0.75	49.59	13.95	46.43	11.94	49.38	12.36	2.33	
単位軌跡長 (cm)	0.75	1.65	0.46	1.55	0.40	1.65	0.42	2.32	
左右軌跡長 (cm)	0.62	30.82	9.09	28.75	6.98	30.21	7.43	1.47	
前後軌跡長 (cm)	0.80	31.57	9.65	29.51	9.28	31.99	9.28	3.11	
外周面積 (cm ²)	0.53	2.47	1.28	2.34	1.17	3.04	1.39	6.03 *	1<3, 2<3
矩形面積 (cm ²)	0.46	6.54	3.60	6.22	3.38	8.10	3.72	4.71 *	2<3
実効値面積 (cm ²)	0.42	1.86	1.21	1.64	0.97	2.09	1.11	2.20	
単位面積軌跡長 (cm/cm ²)	0.44	24.47	11.88	24.17	11.45	19.18	9.79	4.07 *	2>3
左右最大振幅 (cm)	0.47	2.46	0.79	2.45	0.64	2.60	0.69	0.88	
前後最大振幅 (cm)	0.24	2.56	0.89	2.43	0.99	3.01	0.90	4.52 *	2<3
左右動揺中心変位 (cm)	0.76	0.21	0.64	0.22	0.58	0.26	0.58	0.25	
前後動揺中心変位 (cm)	0.76	-1.26	1.36	-1.37	1.27	-1.64	1.26	3.03	
右方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.33	0.91	0.27	0.87	0.19	0.84	0.40	0.73	
左方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.56	-1.23	0.37	-1.22	0.33	-1.22	0.42	0.01	
前方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.69	0.86	0.24	0.80	0.25	0.90	0.27	3.46 *	2<3
後方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.56	-0.86	0.26	-0.81	0.26	-0.83	0.41	0.37	

※ ICC:信頼性係数, 網掛け部分は級内相関係数が0.7以上を示す
 多重比較検定は第1試行と第2試行間は1<2または1>2, 第1試行と第3試行間は1<3または1>3,
 第2試行と第3試行間は2<3または2>3と表記する, * $p<0.05$

表2 閉眼の足圧中心動揺変数における試行間信頼性と試行間差

重心動揺値	ICC	第1試行		第2試行		第3試行		多重比較検定	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	F値	試行間
総軌跡長 (cm)	0.77	66.07	3.08	64.14	3.10	65.26	4.00	0.33	
単位軌跡長 (cm)	0.77	2.21	0.58	2.14	0.57	2.18	0.73	0.36	
左右軌跡長 (cm)	0.70	41.00	12.17	40.81	10.61	40.60	13.26	0.26	
前後軌跡長 (cm)	0.79	42.24	11.98	39.98	12.19	41.65	15.83	1.06	
外周面積 (cm ²)	0.66	3.42	1.67	3.75	1.90	3.84	2.27	1.10	
矩形面積 (cm ²)	0.49	9.45	4.66	10.99	6.91	11.10	7.59	1.20	
実効値面積 (cm ²)	0.64	2.25	1.38	2.56	1.30	2.56	1.89	1.13	
単位面積軌跡長 (cm/cm ²)	0.75	22.84	9.99	19.95	7.91	20.50	8.66	3.89 *	2<1
左右最大振幅 (cm)	0.40	3.08	0.89	3.08	0.79	3.17	1.04	0.16	
前後最大振幅 (cm)	0.42	2.56	0.89	3.42	1.40	3.28	1.12	9.90 *	1<2 1<3
左右動揺中心変位 (cm)	0.60	0.23	0.55	0.16	0.58	0.22	0.65	0.26	
前後動揺中心変位 (cm)	0.80	-1.26	1.39	-1.36	1.39	-1.47	1.24	0.99	
右方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.69	1.21	0.37	1.22	0.31	1.22	0.39	0.03	
左方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.66	-1.23	0.37	-1.22	0.33	-1.22	0.42	0.01	
前方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.76	1.17	0.33	1.13	0.36	1.16	0.44	0.31	
後方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.77	-1.17	0.33	-1.10	0.33	-1.16	0.43	1.63	

※ ICC:信頼性係数, 網掛け部分は級内相関係数が0.7以上を示す
 多重比較検定は第1試行と第2試行間は1<2または1>2, 第1試行と第3試行間は1<3または1>3,
 第2試行と第3試行間は2<3または2>3と表記する, * $p<0.05$

3.2 日内間差信頼性について

表3と表4にBland-Altman法(Bland and Altman, 1986)による開閉眼の足圧中心動揺変数の日内間信頼性を示した。開眼では総軌跡長, 単位軌跡長, 前後軌跡長, 左右最大振幅, 前方向動揺の平均速度および後方向動揺の平均速度に加算誤差が認められた。また, 総軌跡長,

単位軌跡長, 前後軌跡長, 外周面積, 矩形面積, 実効値面積, 左右最大振幅, 前方向動揺の平均速度および後方向動揺の平均速度に比例誤差が認められた ($p < 0.05$)。閉眼では前後最大振幅のみ加算誤差が認められた。また, 外周面積と実効値面積に比例誤差が認められた ($p < 0.05$)。

表3 開眼の足圧中心動揺変数における日内間信頼性 (Bland-Altman 分析)

重心動揺値	午前		午後		加算誤差 95%信頼区間		比例誤差 相関関係	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	下限	上限	係数(r)	P値
総軌跡長 (cm)	48.70	10.08	54.51	13.97	-9.82	-1.80	0.40	0.03 *
単位軌跡長 (cm)	1.62	0.34	1.82	0.47	-0.33	-0.06	0.44	0.02 *
左右軌跡長 (cm)	29.86	6.62	32.36	7.86	-5.09	0.03	0.26	0.17
前後軌跡長 (cm)	31.52	7.30	36.16	10.56	-7.73	-1.61	0.47	0.01 *
外周面積 (cm ²)	2.90	1.79	3.62	2.84	-1.84	0.44	0.42	0.02 *
矩形面積 (cm ²)	8.58	6.66	11.44	12.50	-7.94	2.33	0.55	0.01 *
実効値面積 (cm ²)	2.00	1.29	2.81	3.20	-2.02	0.46	0.69	0.01 *
単位面積軌跡長 (cm/cm ²)	21.04	8.84	18.46	6.40	-0.94	5.78	0.29	0.13
左右最大振幅 (cm)	2.60	0.82	2.91	1.30	0.81	0.18	0.44	0.02 *
前後最大振幅 (cm)	3.05	1.11	3.47	1.51	-1.09	0.30	0.26	0.17
左右動揺中心変位 (cm)	-0.05	0.71	0.05	0.78	-0.35	1.53	0.88	0.65
前後動揺中心変位 (cm)	-0.88	1.49	-1.42	1.75	-0.09	1.15	0.18	0.34
右方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.90	0.19	0.96	0.23	-0.14	0.18	0.27	0.14
左方向動揺の平均速度 (cm/sec)	-0.87	0.20	-0.95	0.24	-0.01	0.16	0.26	0.17
前方向動揺の平均速度 (cm/sec)	0.87	0.21	1.01	0.30	-0.24	-0.05	0.49	0.01 *
後方向動揺の平均速度 (cm/sec)	-0.89	0.21	-1.03	0.31	0.36	0.24	0.48	0.01 *

※95%信頼区間に0が含まれていない変数を網掛け, * $p < 0.05$

表4 閉眼の足圧中心動揺変数における日内間信頼性 (Bland-Altman 分析)

重心動揺値	午前		午後		加算誤差 95%信頼区間		比例誤差 相関関係	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	下限	上限	係数(r)	P値
総軌跡長 (cm)	61.45	18.07	66.06	16.28	-9.23	0.26	0.19	0.32
単位軌跡長 (cm)	2.05	0.61	2.20	0.54	-0.46	0.16	0.14	0.48
左右軌跡長 (cm)	38.12	11.02	40.69	9.98	-5.85	0.89	0.16	0.39
前後軌跡長 (cm)	39.32	13.04	42.69	12.33	-7.04	0.40	0.10	0.61
外周面積 (cm ²)	3.48	1.68	4.53	2.76	-2.08	0.04	0.45	0.01 *
矩形面積 (cm ²)	10.35	5.48	12.92	7.95	-5.67	0.72	0.33	0.08
実効値面積 (cm ²)	2.37	1.39	3.38	3.51	-2.26	0.30	0.71	0.01 *
単位面積軌跡長 (cm/cm ²)	20.61	8.30	17.76	7.45	-0.05	5.53	0.08	0.69
左右最大振幅 (cm)	3.19	1.05	3.39	1.22	-0.68	0.32	0.08	0.67
前後最大振幅 (cm)	3.12	0.94	3.62	0.97	-0.96	-0.03	0.02	0.92
左右動揺中心変位 (cm)	-0.08	0.76	0.03	0.74	-0.44	0.20	0.02	0.91
前後動揺中心変位 (cm)	-0.85	1.70	-1.49	1.86	-0.02	1.29	0.12	0.54
右方向動揺の平均速度 (cm/sec)	1.14	0.34	1.21	0.29	-0.18	0.04	0.22	0.25
左方向動揺の平均速度 (cm/sec)	-1.15	0.33	-1.22	0.31	-0.05	0.18	0.11	0.58
前方向動揺の平均速度 (cm/sec)	1.12	0.36	1.20	0.34	-0.19	0.03	0.08	0.66
後方向動揺の平均速度 (cm/sec)	-1.12	0.38	-1.25	0.38	0.10	0.24	0.03	0.86

※95%信頼区間に0が含まれていない変数を網掛け, * $p < 0.05$

4. 考察

4.1 試行間信頼性と試行間差について

本研究は小学校4年生(9, 10歳)の足圧中心動揺変数の試行間信頼性について検討した。試行間信頼性は統計学的にICCが0.7以上であれば信頼性係数が高いと評価される(今井・瀬見, 2004)。出村ほか(2001)は成人男女を対象にして開眼の足圧中心動揺の試行間信頼性について検討し、76変数のうちX, Y方向動揺分布および動揺速度の歪度を除いた66変数(86.8%)のICCが0.7以上であったと報告している。従って、成人男女の足圧中心動揺変数のほとんどが試行間信頼性に優れていたと評価できる。しかし、本研究の結果では開眼でのICCが0.7以上だった変数は16変数中5変数(31.3%)しかみられず、小学校4年生男女の開眼の重心動揺値は試行間信頼性が保証されないことが示唆された(表1)。一方、閉眼のICCおよび試行差が開眼よりも優れていた(表2)。足圧中心動揺に関する研究では閉眼の試行間信頼性を検討した研究は見当たらない。従って、本研究の結果から、小学校4年生の足圧中心動揺変数の試行間信頼性では閉眼が開眼よりも優れていたという新たな知見を得た。しかし、閉眼においてもICCが0.7以上の変数は全体の50.0%であり、必ずしも試行間信頼性が高いとは言えず、この結果は小学校4年生の特性なのかもしれない。試行間信頼性が高くなる年齢を今後、検討していく必要がある。

3試行の試行間差について一要因分散分析を行った結果、開眼の5変数に有意差がみられ、多重比較検定の結果、外周面積には第1試行目と第3試行目にも有意差がみられたが、矩形面積、単位面積軌跡長、前後最大振幅および前方向動揺の平均速度で第2試行目と第3試行目間に有意差がみられた(表1)。出村ほか(2001)は重心動揺値の試行差において第1試行目が第2試行目から第10試行目間との間に有意差がみられた為、試行回数を考慮してICCを算出し直し、第2試行目または第3試行目のICCが0.7以上になったことで、第1試行目を除いた第2試行目または第3試行目を代表値にす

べきだと報告している。また、初鹿(1987)も20歳から30歳を対象にして重心動揺値の5試行における試行間信頼性を検討し、第1試行目の測定値は除外して第2試行目または第3試行目の測定値を採用すべきだとしている。しかし、本研究はこれらの報告とは異なった結果を示した。子どもの直立姿勢能力では視覚が前庭感覚系や体性感覚系よりも大きな役割を果たしていると言われている(中田, 2004)。坂口(1989)は小学生(8-10歳)、中学生(12-14歳)、高校生(16-18歳)および成人(20-28歳)を対象にして視覚刺激による開閉眼の足圧中心動揺の年齢的变化について検討している。その結果、中学生以上の年齢群では視運動刺激と閉眼との足圧中心動揺に有意差がみられなかったのに対し、小学生群では視運動刺激による総軌跡長と動揺面積(矩形面積)が開眼よりも有意に大きかったことから、小学生の足圧中心動揺では視覚の貢献度が大きい事を示唆している。本研究の結果においても閉眼の試行間差が開眼よりも優れていたことは、先行研究を支持する結果であり、視点を注視することによる視覚の疲労が測定に影響したのではないかと考えられた。さらに幼児や小学生では測定中に手を動かす、足の位置を変える、視点を注視できないなど正しい姿勢が取れない場合もみられ、それらのデータは除外する報告がなされている(岩見ほか, 2009; 真家, 2014; 溝畑・田路, 2019)。溝畑・田路(2019)は子ども(4-11歳)の開閉眼の重心動揺値(総軌跡長および外周面積)における3段階基準値と横断的発達基準曲線を作成する際、測定の繰り返しによる学習効果と精神的苦痛を配慮して測定を1試行だけとしたと報告している。

以上のことから、小学校4年生の開眼での重心動揺の試行間信頼性は成人よりも低いことが示唆され、また小学校4年生を対象とした場合は第1試行目を代表値として採用することが妥当と考えられた。

4.2 日内間信頼性について。

午前と午後に1回ずつ測定した足圧中心動揺

変数から Bland-Altman 法 (Bland and Altman, 1986) によって加算誤差と比例誤差の有無を検討した。すなわち 2つの測定値の差から 95%信頼区間に 0 が含まない場合は加算誤差が存在すると判断し、2つの測定値の回帰直線 (X 軸に 2つの測定値の平均値, Y 軸に 2つの測定値の差) から相関関係が認められた場合は比例誤差が存在すると判断した (小竹・佐藤, 2009; 下井, 2011)。その結果、開眼において 6 変数に加算誤差が認められ、9 変数に比例誤差が認められた (表 3)。先行研究において足圧中心動揺変数の日内間信頼性について報告した研究は見当たらず、本研究が初の試みと思われる。一方、山次ほか (2001) は青年男女 30 名を対象にして、出村ほか (2001) が有効とした開眼の足圧中心動揺の 60 変数から 5 試行間の日間信頼性について検討している。その結果、3 変数以外の変数で日間信頼性が認められ、特に単位軌跡長、X、Y 方向動揺速度の標準偏差、Y 方向動揺分布の累計度数の傾斜、速度変数、動揺速度平均ベクトルが有効な変数であったことから、成人男女の開眼での足圧中心動揺変数の日間信頼性においても優れていたことを明らかにしている。本研究は日内間信頼性について検討している為、山次ほか (2001) の報告と単純に比較する事はできないが、開眼では 16 変数中 9 変数に加算誤差と比例誤差が認められ、小学校 4 年生の足圧中心動揺の測定では時間帯を考慮する必要があると考えられた。一方、閉眼の日内間信頼性は開眼よりも優れており、加算誤差が 1 変数 (前後最大振幅)、比例誤差が 2 変数 (外周面積と実効値面積) のみであった (表 4)。視覚は年齢に問わず直立姿勢能力に大きく関与すると言われている (市川・渡邊, 1991)。また、柳田 (1986) は 4 歳から 15 歳の 111 名の被験者に対し、幼稚園群、低学年群、中学年群、高学年群および中学生群の 5 群に分類して開閉眼の単位軌跡長、動揺面積 (矩形面積)、前後左右最大振幅、前後左右中心変位、およびパワースペクトルの経年変化について横断的に検討している。その結果、すべて群において各足圧中心動揺変数の閉眼の値

が開眼の値よりも高値を示したこと、特に幼稚園群と低学年群の開閉眼比が大きかったと報告している。本研究の結果からも閉眼が開眼よりも日内間差が優れていたことから、視覚の疲労による影響が日内間差に影響したのではないかと考えられた。

5. まとめ

本研究は小学校 4 年生の開閉眼の足圧中心動揺の試行間および日内間信頼性について検討し、以下の結果が得られた。

- 1) 開眼の試行間信頼性では ICC が 0.7 以上だった変数は総軌跡長、単位軌跡長、前後軌跡長、左右動揺中心変位および前後動揺中心変位の 5 変数 (31.3%) であった。また、試行間差は外周面積、矩形面積、単位面積軌跡長、前後最大振幅および前方向動揺の平均速度の 5 変数に有意差がみられ、多重比較検定の結果、多重比較検定の結果、外周面積が第 1 試行目と第 3 試行目、第 2 試行目と第 3 試行目との間、それ以外の変数では第 2 試行目と第 3 試行目間との間に有意差がみられた。
- 2) 閉眼の試行間信頼性では ICC が 0.7 以上だった変数は総軌跡長、単位軌跡長、左右軌跡長、前後軌跡長、単位面積軌跡長、前後動揺中心変位、前方向動揺の平均速度および後方向動揺の平均速度の 8 変数 (50.0%) であった。また、試行間差は単位面積軌跡長と前後最大振幅の 2 変数に有意差がみられた。
- 3) 開眼の日内間信頼性では総軌跡長、単位軌跡長、前後軌跡長、左右最大振幅、前方向動揺の平均速度および後方向動揺の平均速度の 6 変数に加算誤差が認められ、総軌跡長、単位軌跡長、前後軌跡長、外周面積、矩形面積、実効値面積、左右最大振幅、前方向動揺の平均速度および後方向動揺の平均速度の 9 変数に比例誤差が認められた。
- 4) 閉眼の日内間信頼性では前後最大振幅のみ加算誤差が認められ、外周面積と実効値面積に比例誤差が認められた。

以上のことから、小学校 4 年生の足圧中心動

揺の測定では試行間信頼性および日内間信頼性が開眼よりも閉眼の方が優れていたこと、足圧中心動揺の測定は第1試行目を代表値とすることが妥当であることが示唆された。

なお、本研究の一部は日本体育学会第68回大会（施：静岡大学）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

- Bland JM. and Altman DG. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307-310.
- 出村慎一・山次俊介・野田政弘・北林保・長澤吉則 (2001) 静止立位姿勢における足圧中心動揺の評価変数の検討—試行間信頼性と変数相互の関係の観点から—. *Equilibrium Research*, 60: 44-55.
- 初鹿信一 (1987) 重心動揺値による身体動揺に関する研究—基礎的検討と臨床意義—. *日本耳鼻咽喉科学会会報*, 90: 598-612.
- 平沢弥一郎 (1979) 生体の統合作用としての直立姿勢の総合的研究. *人類誌*, 87: 77-79.
- 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: 42-46.
- 市川真澄・渡邊悟 (1991) 直立姿勢に対する視覚情報の影響. *バイオメカニクス学会誌*, 15: 59-64.
- 今井樹・瀬見泰蔵 (2004) 理学療法研究における“評価の信頼性”の検査法. *理学療法科学*, 19: 261-265.
- 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. *杏林医会誌*, 40: 19-23.
- 神崎素樹 (2012) 立位バランスの測定と評価. *体育の科学*, 62: 518-523.
- 小竹良文・佐藤暢一 (2009) Bland-Altman 法による心拍出量モニタの精度評価. *日集中医誌*, 16: 263-272.
- 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.
- 正木健雄 (2000) 子どものからだの「発達不全」と「不調」: 実践されてきた“からだのおかしさ”の実体. *体育学研究*, 45: 267-273.
- 溝畑潤・田路秀樹 (2019) 子どもの重心動揺における評価指標と横断的発達基準曲線の開発. *教育医学*, 65: 171-184.
- 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.
- 中田英雄 (2004) 視覚機能と運動. *体育の科学*, 54: 541-545.
- 日本平衡神経科学会 (2006) 平衡機能検査法診断基準化のための資料. *Equilibrium Research*, 65: 468-503.
- 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.
- 坂口正範 (1989) 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.
- 下井俊典 (2011) 評価の絶対信頼性. *理学療法科学*, 26: 451-461.
- 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.
- 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.
- 内山靖・小林武・間瀬教史 (2012) 計測法入門. 協同医書出版社, pp.17-20.
- 白井永男・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.
白井永男・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.
山次俊介・出村慎一・野田政弘・長澤吉則・中
田征克・北林保（2001）足圧中心動揺によ
る評価変数の日間信頼性の検討.
Equilibrium Research, 60: 217-226.
大和真・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.
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.

（2020年11月24日受付, 2021年2月3日受理）