

幼児の立位姿勢保持能力と全身反応時間の関係

溝畑 潤¹⁾、田路 秀樹²⁾

Association between the ability of maintain standing posture and whole-body reaction time in Japanese preschool children

Jun MIZOHATA¹⁾, Hideki TOJI²⁾

Abstract

Objective : The purpose of this study was to examine the reliability of the measurement values of whole-body reaction time, and the association between the measurement values for the center of pressure (COP) in static standing posture and the measurement values of whole-body reaction time in Japanese preschool children. **Methods :** Subjects were 138 preschool children (70 boys, 68 girls) aged 5 to 6 who were enrolled in two kindergartens in Osaka prefecture. The measurement values of whole-body reaction time calculated using a T.K.K. 5408 (Takei Corporation, Niigata) . The measurement values of COP estimated Total Locus Length (LNG) and Environment Area (Env. Area) measured while children stood closed foot for 30 seconds under eyes-open and eyes-closed conditions using Gravicorder GS-7 (ANIMA Corporation, Tokyo) . **Results :** Intra-class correlation coefficients (ICC) for whole-body reaction time measurement values were above 0.7 for 5-year-olds of both sexes and 6-year-old boys. Significant correlations were found between the measurement values of the environment area with eyes closed and the measurement values of whole-body reaction time in both 6-year-old boys and girls (boys: $r=0.350$, $p=0.020$; girls: $r=0.378$, $p=0.013$) . **Conclusion :** The average values of whole-body reaction time calculated in three trials, excluding the maximum and minimum of five trials, demonstrated the statistical reliability of this study. We suggested that maintaining standing posture develops both vestibular and somatosensory sensations, which are stronger than visual sensation, and an association between the coordination of voluntary movements in 6-year-old boys and girls.

Keywords : ICC, eyes closed, environment area

1) 関西学院大学人間福祉学部人間科学科
〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155
School of Human Welfare Studies, Kwansai Gakuin University
代表著者の通信先：溝畑潤、関西学院大学人間福祉学部人間科学科
〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155
Phone : 0798-54-6068 Fax : 0798-54-6854 E-mail : mizohata@kwansai.ac.jp

2) 兵庫県立大学
〒651-2197 兵庫県神戸市西区学園西町 8-2-1
University of Hyogo

受付日 : 2022.2.18, 採択日 : 2022.4.15

I. 緒言

ヒトの走、跳、投などの基礎的な運動動作は、自らの意思で実行する随意運動であり、大脳皮質、新皮質に作用して随意的行動が調整される¹⁾。一方、立位姿勢は無意識に実行される運動制御であり、視覚、前庭感覚および体性感覚によって適切な運動指令が身体各部位に発せられる²⁾。両者は共に幼児期の発達が著しく、この時期に多様な運動動作を経験することで、運動を調節する能力が身に付きやすくなる³⁾。

立位姿勢保持能力を定量的に評価する方法に重心動揺があり、医療・リハビリテーション分野では平衡機能検査として利用されている⁴⁾。さらに、健康・体育・スポーツ分野では、測定方法が簡便（検査台上に静止立位姿勢で開眼および閉眼状態をそれぞれ30秒から1分ほど維持）であることに加えて、安全性に優れている利点⁵⁾から、幅広い年齢層を対象に体力・運動能力との関係⁶⁻⁹⁾やスポーツ選手の競技力との関係^{10,11)}について研究がなされている。そのうち、子どもを対象にした先行研究において、幼児を対象に重心動揺と体力テストとの関係について検討した研究では、男女6歳児の総軌跡長（測定時間内の重心点の移動した全長）は、反復横跳びと相関が認められたことが報告されている⁸⁾。さらに、小学校低学年男女の重心動揺値（単位時間軌跡長、外周面積、単位面積軌跡長）と新体力テスト（反復横跳び、20mシャトルラン、50m走、立ち幅跳びおよびソフトボール投げ）の関係では、小学1年生から3年生の男女の単位時間軌跡長および外周面積が反復横跳びとの間に有意な相関関係が認められたことが報告されている⁶⁾。これらの先行研究は幼児および小学校低学年の児童において、重心動揺と調整力の間に密接な関係性がみられることを示すものである。また、重心動揺の測定では開閉眼の2つの条件によって測定することで、視覚と視覚以外（前庭感覚および体性感覚）による神経系の発達を比較検討することができる。しかしながら、これまで開閉眼での重心動揺値と調整力の発達との関係性を検討した報告はみられない。

他方、反復横跳び以外の調整力を評価する指標に全身反応時間がある。全身反応時間は、刺激から知覚受容における潜時、知覚神経の伝導時間、脊髄・間脳・大脳皮質におけるシナプスを経て運動領の神経細胞への伝道時間、さらに運動神経を伝わり、筋線維を興奮させて動作に至り足が浮くまでの時間であり、神経系の能力を評価する種目と考えられ^{12,13)}、神経系の発達を評価する指標として有用性に優れていることが明らかにされている^{14,15)}。そのうち、幼児を対象にした全身反応時間の測定法に関する研究では、5試行のうち最大値と最小値を

除く3試行の平均値が成人と同等の信頼性を得たと報告されているが¹⁶⁾、テストの理解力が不十分なことから信頼性が問われる¹⁷⁾とする報告もあり、その信頼性については議論されている。

そこで本研究は、ヒトの基本的動作の発達が著しい幼児を対象として、幼児の全身反応時間の測定の信頼性および重心動揺と全身反応時間の関係性を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象

大阪府下のI幼稚園およびT幼稚園に在籍する5歳と6歳（測定時の年齢）の計138人（男児：70人，女児：68人）を対象とした。対象者の身体特性は平成22年度乳幼児身体発育調査報告書¹⁸⁾の身長および体重の平均値と類似し、一般的な幼児期の発育状態であった。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、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. 測定方法

1) 全身反応時間

全身反応時間の測定には竹井機器工業株式会社製T.K.K.5408を用いた。さらに、先行研究との比較可能性を確保する為、大石ら¹⁶⁾と同様に、被験者には動作開始時に軽く膝を曲げた姿勢をとらせ、光刺激装置の高さは被験者の動作開始姿勢時における目の高さとした。測定用マットは光刺激装置から1.5m離れた位置に設置し、光刺激の発光時から被験者の両脚が測定用マットから離れるまでの時間を1/1000秒で示した。さらに大石ら¹⁶⁾と同様に測定回数は5回とし、最小値と最大値を除いた3回の平均値を算出し、その平均値を代表値とした。

2) 重心動揺の測定

重心動揺の測定にはアニマ株式会社製グラビコーダGS-7（JIS規格）を使用し、視覚と視覚以外（前庭感覚および体性感覚）の神経系の発達を比較検討する為、開閉眼条件をそれぞれ30秒間測定した。なお、サンプリング周波数は20 Hzとした。総軌跡長(cm)は測定時間内(30秒)の重心点の移動した全長、外周面積(cm²)は重心動揺の軌跡の最外部によって囲まれる面積から算出した¹⁹⁾。

2006年平衡機能検査法診断基準化委員会が定めた測定方法に従い、以下の手順で実施した¹⁹⁾。

- 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重心動揺が安定した時点から閉足、自然に直立した姿勢の状態にて開閉眼条件で30秒間を1回測定した。

3. 統計処理

データの統計処理にはExcel 2016 (Microsoft社製)と統計解析ソフトSPSS for Windows (ver.27.0, IBM社製)を用いた。各年齢と性別の体格(身長および体重)、開閉眼の重心動揺値(総軌跡長および外周面積)および全身反応時間は平均値と標準偏差で示した。全身反応時間の測定値における試行間信頼性は、対応のある一要因分散分析を行い、級内相関係数(Intraclass correlation coefficient: 以下ICCと略す)により検討し、ICCと95%信頼区間を示した。開閉眼の重心動揺値(総軌跡長および

び外周面積)と全身反応時間の相関分析にはPearsonの積率相関係数(r)を用いた。なお、本研究における統計的有意水準はすべて5%未満で有意とした。

Ⅲ. 結果

表1に年齢および性別の人数の内訳と身長および体重を示した。さらに、表2に開閉眼の重心動揺値(総軌跡長および外周面積)と全身反応時間の平均値と標準偏差をそれぞれ示した。表3に各年齢と性別における全身反応時間の試行間信頼性についてICCを示した。6歳女子のICCのみ0.7以下(0.693)であったが、それ以外の性別と年齢のICCは0.7以上であった(5歳男子:0.793, 5歳女子:0.812, 6歳男子:0.792)。表4に各年齢と性別における開閉眼の重心動揺値(総軌跡長と外周面積)と全身反応時間の相関関係を示し、図1および図2には閉眼の外周面積と全身反応時間の散布図を男女別に図示した。6歳男女の閉眼の外周面積と全身反応時間の間のみ有意な相関関係が認められた(男子:r=0.350, p=0.020; 女子:r=0.378, p=0.013)。

表1 対象者の身体特性

年齢	性別	人数	身長(cm)		体重(kg)	
			平均値(SD)	平均値(SD)	平均値(SD)	平均値(SD)
5歳	男児	26	110.5	7.2	18.7	3.6
	女児	26	108.9	5.7	17.7	2.2
6歳	男児	44	112.5	5.2	19.7	3.1
	女児	42	113.1	5.9	19.2	2.1

表2 対象者の開閉眼の重心動揺値(総軌跡長, 外周面積)と全身反応時間

年齢	性別	人数	開眼				閉眼				全身反応時間(sec)	
			総軌跡長(cm)		外周面積(cm ²)		総軌跡長(cm)		外周面積(cm ²)		平均値(SD)	平均値(SD)
			平均値(SD)	平均値(SD)	平均値(SD)	平均値(SD)	平均値(SD)	平均値(SD)				
5歳	男児	26	70.4	24.1	6.2	4.3	100.1	33.2	9.1	6.1	0.5	0.1
	女児	26	61.4	13.1	3.7	1.3	99.0	49.1	6.8	5.4	0.6	0.1
6歳	男児	44	67.3	22.0	5.4	4.2	90.1	30.4	7.3	5.7	0.5	0.1
	女児	42	60.5	21.8	4.7	3.9	84.5	27.4	5.8	2.6	0.5	0.1

表3 全身反応時間(sec)における信頼性

年齢	性別	ICC	95%信頼区間		P値
			下限	上限	
5歳	男子	0.793	0.647	0.893	<0.001
	女子	0.812	0.677	0.903	<0.001
6歳	男子	0.792	0.685	0.872	<0.001
	女子	0.693	0.550	0.808	<0.001

※ ICC: 級内相関係数

表4 重心動揺値と全身反応時間の相関係数

年齢	性別	開眼				閉眼			
		総軌跡長(cm)		外周面積(cm ²)		総軌跡長(cm)		外周面積(cm ²)	
		相関係数(r)	P値	相関係数(r)	P値	相関係数(r)	P値	相関係数(r)	P値
5歳	男子	0.089	0.665	-0.016	0.939	0.123	0.549	0.020	0.924
	女子	0.383	0.054	0.039	0.852	0.225	0.270	0.117	0.570
6歳	男子	-0.082	0.595	0.040	0.794	0.195	0.206	0.350	0.020 *
	女子	0.219	0.164	0.273	0.080	0.070	0.657	0.378	0.013 *

*p<0.05

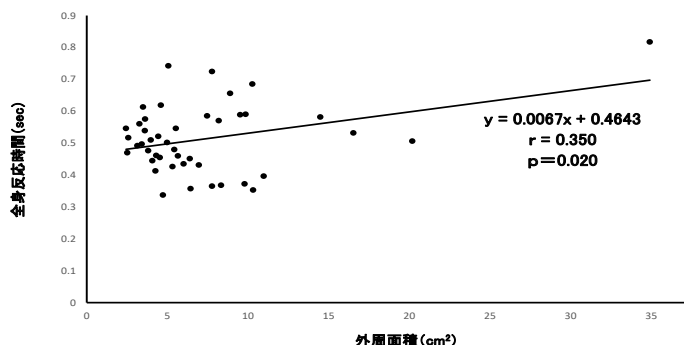


図1 6歳男子の閉眼・外周面積(cm²)と全身反応時間(sec)の相関

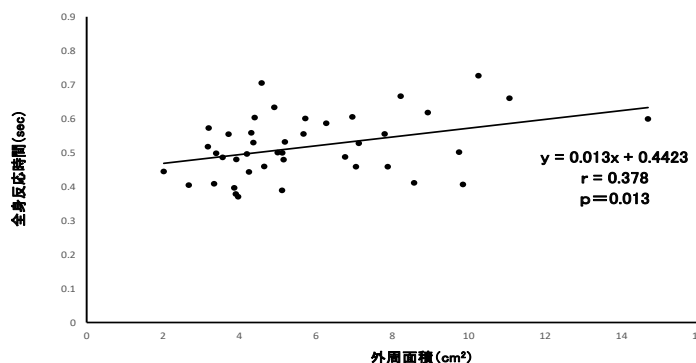


図2 6歳女児の閉眼・外周面積(cm²)と全身反応時間(sec)の相関

IV. 考察

本研究は幼児の全身反応時間の測定の信頼性および重心動揺と全身反応時間の関係性を明らかにすることを目的とした。その結果、最大値と最小値を除く3試行の平均値を代表値とした場合の級内相関係数(ICC)は、6歳女子(ICC = 0.693)を除く5歳の男女と6歳男子のICCが0.7以上であった。また、6歳男女の閉眼の外周面積と全身反応時間の間のみ有意な相関関係が認められた。

1) 全身反応時間の測定の信頼性

全身反応時間について、近藤¹⁴⁾は5歳から15歳の男子の全身反応時間が漸次減少したことから、調整力の発達を評価する指標として有用であることを示唆している。しかし、全身反応時間は幼児を対象にした場合、測定方法(光刺激の発光に対応して両脚でジャンプする)を理解することが困難な為、測定結果の妥当性や信頼性が懸念されている¹⁷⁾。大石ら¹⁶⁾は幼児(3歳から6歳)と成人(18歳から19歳)を比較検討し、幼児では5試行のうち最小値と最大値を除く3試行の平均値を代表値とすれば、成人と同等の信頼性が得られたと報告している。本研究も大石ら¹⁶⁾と同様に5試行のうち最大値と最小値を除く3試行の平均値を代表値とし、級内相関係数から試行間信頼性について検討した(表3)。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ている²⁰⁾。本研究の6歳女子のICC(0.693)が0.7を若干下回ったものの、その他の年齢と性別ではICCが0.7以上であった。この結果から、幼児では5試行のうち最大値と最小値を除く3試行の平均値を代表値とすれば、幼児の全身反応時間測定の信頼性が得られると考えられた。

2) 重心動揺と全身反応時間の関係について

各年齢と性別における開閉眼の重心動揺値と全身反応時間の相関関係は、6歳男女の閉眼の外周面積と全身反応時間の間のみ有意な相関関係が認められた(表4, 図1, 図2)。閉眼条件による重心動揺の測定では、視覚を遮断する事で前庭感覚および体性感覚による姿勢制御を評価している⁵⁾。幼児期の立位姿勢保持では視覚の要因が高いことが報告されている²¹⁾。一方、立位姿勢保持能力は加齢と共に視覚の関与が低下し、固有受容感覚を含む体性感覚の関与が優勢となることに加えて、筋力の役割が高まると言われている²²⁾。Foudriat et al.²³⁾の3歳から6歳のアメリカ人男女を対象にした研究においても姿勢制御に関与する感覚は3歳頃までは視覚が優位であるが、4歳頃から6歳頃にかけては体性感覚が優位

となることが報告されている。さらに、重心動揺値である外周面積は姿勢制御の立ち直り反射について評価している⁵⁾。溝畑ら²⁴⁾の4歳から11歳の日本人男女を対象にした開閉眼の重心動揺値(総軌跡長および外周面積)の横断的研究では、開閉眼の外周面積において男子の4歳が6歳以降、5歳が7歳以降との間に、女子の4歳と5歳が6歳以降との間に有意差が認められたと報告されており、男女共に6歳頃に開閉眼差と併せて外周面積が小さくなることが考えられる。他方、幼児の全身反応時間の年齢差について、片岡²⁵⁾は年中クラス(5歳)と年長クラス(6歳)との間に有意差が認められたと報告している。以上のことから、6歳男女は立位姿勢保持能力の発達過程において、視覚の関与よりも前庭感覚および体性感覚の関与が強くなることと、随意運動における調整力の発達と関係があることが考えられた。

3) 本研究の限界と今後の課題

本研究では幼児の重心動揺と全身反応時間について検討したが、教育現場でこれらの測定器具を用いて一般化するには決して安価な測定器具ではなく、さらに大人数を短時間で測定することは困難である。その為、重心動揺や全身反応時間を妥当基準とした他の簡便な測定評価法を検討する必要がある。さらに、本研究は対象を幼児に限定しているが、加齢に伴う重心動揺と全身反応時間の因果関係については明らかにしていない。今後の研究課題として対象年齢を小学生および中学生まで広げて、子どもの重心動揺と全身反応時間における横断的研究として検討する必要がある。

V. 結論

幼児における全身反応時間の測定では、5試行のうち最大値、最小値を除く3試行の平均値に統計的な信頼性が得られた。また、閉眼時の重心動揺の外周面積が神経系の発達と関与する全身反応時間に有意な相関がみられたことから、6歳男女の立位姿勢保持能力は、視覚よりも前庭感覚および体性感覚の関与が強くなることと、随意運動における調整力の発達と関係があることが考えられた。

利益相反自己申告: 申告すべきものはない。

文献

- 1) 高草木薫: 大脳基底核—脳幹網様体—脊髄における姿勢制御機構. 大築立志, 鈴木三央, 柳原大, 姿勢の脳・神経科学—その基礎から臨床まで—. 市村出版: 東京. 2011; 70-84.

- 2) 神崎素樹：ヒトの直立姿勢保持機構に及ぼす指先触覚の効果. 大築立志, 鈴木三央, 柳原大, 姿勢の脳・神経科学—その基礎から臨床まで—. 市村出版：東京, 2011；36-50.
- 3) 小林寛道：幼児期運動指針とは？日本発育発達学会編, 幼児期運動指針実践ガイド. 杏林書院：東京, 2014；1-16.
- 4) 初鹿信一：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, 1987；90：598-612.
- 5) 時田喬：直立検査とその基礎—直立制御機構の解析—, Equilibrium Research, 1990；49：367-377.
- 6) 真家英俊：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, 2014；7：157-164.
- 7) 奥住秀之, 古名丈人, 西澤哲, 他：静的平衡機能と筋力との関連—高齢者を対象とした検討—. Equilibrium Research, 2000；59：574-578.
- 8) Shintaku Y, Ohkuwa T, Yabe K：Effect of physical fitness level on postural sway in young children. Anthropological Science, 2005；113: 237-244.
- 9) 杉林孝法, 大森重宜, 清水都：男子中学生における基礎運動能力と重心動揺の関係. 金沢星稜大学人間科学研究, 2011；2：59-62.
- 10) 溝畑潤：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, 2010；48：139-145.
- 11) 田中秀幸, 上口孝文, 飯田颯男, 他：大学柔道選手の直立姿勢保持能力について. 武道学研究, 1987；20：145-146.
- 12) 猪飼道夫, 浅見高明, 芝山秀太郎：全身反応時間の研究とその応用. Olympia 2, 1961；210-219.
- 13) Glickstein M:Brain mechanisms in reaction time. Brain Research, 1972; 33-37.
- 14) 近藤明彦：調整力テストとしての全身選択反応時間の測定とノルム作成の試み, 慶應義塾大学体育研究所紀要, 1994；34：1：1-19.
- 15) 佐藤洋一郎, 村上賢一：全身反応時間とバランス能力およびその他の身体機能との関係. 東北文化学園大学リハビリテーション学科紀要, 2010；6：35-42.
- 16) 大石健二, 佐藤孝之, 西山哲成：幼児の運動能力測定項目としての全身反応時間の信頼性. 体力測定評価研究, 2012；11：25-33.
- 17) 片岡佑衣, 寺本圭輔, 村松愛梨奈：幼児期における全身反応時間の年齢差の検討および脚伸展筋力との関係. 発育発達学研究, 2020；87：1-9.
- 18) 厚生労働省：平成22年乳幼児身体発育調査報告書. 厚生労働省, 2021.
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/73-22-01.pdf>
- 19) 日本平衡神経科学会：平衡機能検査法診断基準化のための資料. Equilibrium Research, 2006；65：468-503.
- 20) 今井樹, 瀬見泰蔵：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, 2004；19：261-265.
- 21) 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 Research, 1986；5: 332-344.
- 22) Horak FB: Motor control models underlying neurologic rehabilitation of posture in children. Forssberg H et al. Movement Disorders in Children, Kager, 1992; 21-30.
- 23) Foudriat BA, Fabio RP, Anderson JH: Sensory organization of balance responses in children 3-6 years of age. Intern J of Pediatric Otorhinolaryngology, 1993; 255-271.
- 24) 溝畑潤, 田路秀樹：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, 2019；65：171-184.
- 25) 片岡佑衣：幼児期の運動能力の経年変化と調整力における年齢差の検討. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 2019；43：48-51.

