

研究 (原著)

発達に遅れのある幼児における歩行変動性の増大

上出 香波¹⁾, 上出 直人^{2,3)}, 内田早穂子⁴⁾, 中川まゆみ⁵⁾
水戸 陽子²⁾, 高橋香代子^{2,3)}, 野村 優子⁶⁾, 佐藤 春彦⁷⁾

〔論文要旨〕

本研究は、歩行に影響を与える年齢・性別・体格をマッチングさせた保育園通園児と児童発達支援利用児の歩行の時空間パラメーターを比較し、発達に遅れのある幼児の歩行の特徴を検証することを目的とした。対象は、児童発達支援を利用し発達に遅れがある幼児 13 人 (平均±標準偏差 (SD) : 4.5±1.0 歳) と保育園通園児 114 人 (4.4±1.0 歳) とした。全ての対象児に対して、定常歩行時の速度、歩行率、歩行周期時間、立脚時間の割合、歩幅、歩隔、歩行周期時間変動、歩幅変動、歩隔変動を歩行パラメーターとして計測した。さらに、児童発達支援利用児と保育園通園児の年齢・性別・身長・体重を傾向スコア法によりマッチングさせ、両群の各歩行パラメーターを比較した。傾向スコアマッチングの結果、児童発達支援児と保育園通園児の各 13 人を分析対象とした。両群の各歩行パラメーターを比較したところ、児童発達支援利用児では、歩幅変動、歩隔変動、歩行周期時間変動が有意に大きいことを認めた。受信者動作特性曲線により歩幅変動、歩隔変動、歩行周期時間変動における児童発達支援利用児と保育園通園児の識別精度を検証した結果、高い識別精度を示した。本研究の結果、発達に遅れのある幼児の歩行の特徴として、歩行の時空間パラメーターの変動性が大きいことが明らかになった。つまり、発達に遅れのある幼児では、歩行時の下肢の振り出し運動が一步一步でばらつくことが特徴と考えた。

Key words : 発達障害, 定型発達, 歩行パラメーター, 歩行変動

I. 目 的

発達障害は、米国精神医学会の精神疾患の診断・統計マニュアル第 5 版 (DSM-5) では神経発達症と称され、「発達早期から症状が認められる状態で、対人的、社会的、学業的、職業的な機能の障害を生み出す発達上の欠陥が見られること、その欠陥は、非常に特異的な学習や実行機能にかかわるものから、広範な社会スキルや知能の障害にかかわるものまで、幅広い状態に

ある」¹⁾とされている。神経発達症には、自閉症スペクトラム障害 (autism spectrum disorder : ASD), 注意欠如・多動性障害 (attention deficit hyperactivity disorder : ADHD), 限局性学習障害 (specific learning disorder : SLD), 発達性協調運動障害 (developmental coordination disorder : DCD) などの分類があるが²⁾, これらの障害は併存することも多いとされている^{1,3)}。

発達障害を抱える子どもの症状や生活課題は、抱えている障害の分類や単独障害か併存障害かなどによっ

Greater Gait Variability in Infants with Developmental Delays

Kanami Kamide, Naoto Kamide, Sahoko Uchida, Mayumi Nakagawa, Yoko Mizuto, Kayoko Takahashi, Yuko Nomura, Haruhiko Sato

[JCH-23-048]

受付 23.12.27

採用 24. 2.21

1) 明星大学教育学部 (現 駒沢女子短期大学) (研究職)

2) 北里大学医療衛生学部 (研究職)

3) 北里大学大学院医療系研究科 (研究職)

4) 発達支援 SmileOn (保育士)

5) 発達支援 SmileOn (心理士)

6) 北里大学病院リハビリテーション部 (理学療法士)

7) 北里大学医療衛生学部 (現 関西医科大学リハビリテーション学部) (研究職)

て異なるが、知能の遅れ、言語発達の遅れ、社会的コミュニケーションの障害、限局性・反復性の行動・思考、不注意症状、多動性・衝動性症状、読み書きや算数などの特定分野の学習への困難さ、協調運動障害、など多岐にわたる^{1,2)}。これらの症状に加えて、日常生活活動における基盤的動作である歩行の発達に対しても影響があることが報告されている。実際、ASDの子どもの歩行パターンに関する先行研究の系統的レビューを行っている研究論文では、ASDの子どものは定型発達児と比較して歩幅が小さく歩隔が大きいことを示し、また、歩行中の下肢の関節運動パターンにも差異があることを報告している⁴⁾。また、子どもから成人までのASDによる歩行特性をメタ分析にて検証した研究では、歩隔や歩行速度などの時空間因子への差異に加えて、歩幅や歩行速度の変動性が増大していることも報告している⁵⁾。さらに、ADHDの子どもにおいても、同年齢の定型発達児と比較すると歩行周期時間の変動が大きくなっていることが報告されている⁶⁾。このような歩行の発達への影響は、協調運動に障害のあるDCDの子どもやSLDの子どもにおいても報告されている^{7,8)}。

一方、発達障害の子どもにおける歩行の特徴については、先行研究の対象が学童期以降の子どもを対象とした研究がほとんどであるため、幼児期における歩行の発達への影響については不明である。しかしながら、子どもにおける歩行の発達については、幼児期における変化が大きいことが知られており^{9,10)}、発達障害の子どもにおける歩行の発達への影響を明らかにするためには、幼児期における歩行の特徴を検討することが重要であると考えられる。無論、幼児期の子どもを対象とした先行研究が少ない一因として、幼児期の早い段階で発達障害の症状を発見し診断することが難しいためと推測される¹¹⁾。ただし、発達の遅れや課題を有し、医療的・福祉的な支援を受けている幼児では、何らかの発達障害を有している可能性も高いと想定される。したがって、特定の医学的診断がない状態であっても発達の遅れや課題が認められる幼児の歩行特性を明らかにすることでも、発達障害を有する子どもの歩行への影響を明らかにするための有用な情報になると考えた。そこで、本研究では、発達に遅れのある幼児における歩行の特徴を明らかにするため、児童発達支援事業の利用児と認可保育園の通園児を対象に歩行分析を行い、発達に遅れのある幼児の歩行の特徴を検討

することを目的とした。

Ⅱ. 対象と方法

1. 対象

本研究の対象となる幼児は、独歩が可能な児童発達支援事業を利用していた3～6歳の幼児および認可保育園に通園していた幼児とした。対象となる幼児の募集については、児童発達支援事業を利用していた幼児については、児童発達支援事業所Aを利用していた全幼児48人を対象とし、その全保護者に本研究に関する案内文を手紙で配布して募集した。なお、事業所Aが所在する市における児童発達支援事業の利用に関する受給者証の発行数は、調査実施年度で190件であった。次に、保育園通園児に関しては、認可保育園Bに通園していた全幼児142人を対象とし、その保護者全員に本研究に関する案内文を手紙で配布して募集した。なお、児童発達支援事業の利用は、神経発達症の医学的診断に基づくわけではなく、行政からの療育手帳の交付に基づいて決定される。そのため、本研究では、児童発達支援事業を利用している幼児のうち、乳幼児発達スケール(Kinder Infant Development Scale: KIDS)¹²⁾のタイプTの総合発達指数が84以下かつ乳幼児自閉症チェックリスト(Checklist for Autism in Toddlers: CHAT)¹³⁾の日本語版Modified-CHAT全23項目中3項目以上の不通過がある幼児を発達に遅れや課題のある可能性を有する幼児と操作的に定義し、分析対象として組み入れた。KIDSは子どもの日頃の行動に関する質問への保護者の回答に基づいて発達状況を測定する尺度であるが、その結果は新版K式と相関を示すことが報告されている¹⁴⁾。本研究では、境界知能の上限閾値¹⁵⁾を参考に発達指数84を基準として設定したものである。また、M-CHATについてはASDのスクリーニングとしての有用性が報告されており¹⁶⁾、この先行研究の結果を参考に基準を設定した。加えて、児童発達支援事業利用児および保育園通園児ともに、出生時体重が2,500g未満の低出生児は分析から除外した。出生児体重は保護者より聴取して確認した。

研究参加者の募集によって、保護者から同意が得られ、歩行パラメーターの計測に参加したのは、児童発達支援事業の利用児が20人、保育園通園児が138人であった。そのうち、上記の分析対象者の基準を満たし、歩行パラメーターの計測において有効なデータが

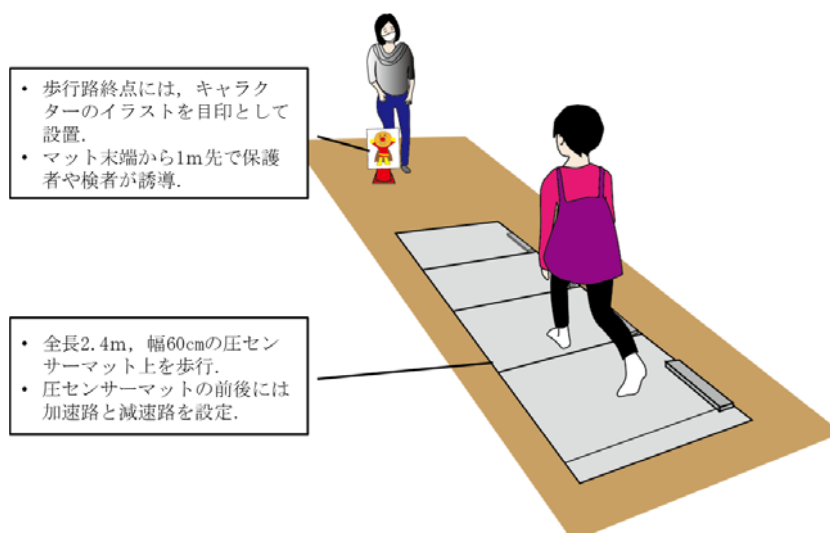


図 1 歩行パラメーターの計測風景（イラスト著者作成）

得られた幼児を分析対象として組み入れた結果、児童発達支援事業を利用していた発達に遅れがある幼児 13 人（平均±標準偏差（SD）：4.5±1.0 歳，うち，男児 9 人 [69.2%]）および保育園通園児 114 人（4.4±1.2 歳，男児 58 人 [50.9%]）より有効な歩行パラメーターのデータを取得し統計学的分析を行った。なお，発達に遅れがある幼児 13 人の KIDS タイプ T の平均得点は 64.3±14.2 点で，得点の幅は 30.6～84 点であった。また，神経発達症に関する医学的診断がなされている幼児は 4 人で，ADHD と DCD の合併が 1 人，ASD が 1 人，ADHD が 1 人，言語発達障害が 1 人，その他の幼児は特に診断名はついていない状況であった。

本研究における倫理的配慮として，「人を対象とする生命科学・医学研究に関する倫理指針（文部科学省，厚生労働省，経済産業省）」を遵守するとともに，明星大学研究倫理審査委員会（2019-015）および北里大学医療衛生学部研究倫理審査委員会（2018-014B）の承認を得て実施した。また，研究を実施する前に，対象幼児の保護者には研究内容や個人情報の保護などの必要事項について書面により説明し，書面により研究への参加について同意を得た。

2. 歩行パラメーターの計測

歩行パラメーターに関しては，全長 2.4m，幅 60cm の圧センサーマット（ウォーク Way MW-1000，アニマ株式会社）を用いて，定常歩行時における計測を行った。なお，走行や急な停止や蛇行などがなく，真っ直ぐに普段の歩行状態で歩いた場合を定常歩行とし，定

常歩行状態であるか否かについては経験を有する理学療法士（佐藤・上出（直））が観察し判断した。計測中に定常歩行とならなかった場合は解析から除外し，2 試行分のデータが取得できるまで計測を実施した。計測に関しては，圧センサーマットの前後に加速路と減速路を 1m ずつ設けた歩行路を設定し，歩行路の終点にはキャラクターのイラストを貼り付けたコーンを設置して目印とした（図 1）。対象児には，キャラクターのイラストまで真っ直ぐに歩くように説明し，必要に応じて保護者や研究者が誘導した。

計測した歩行パラメーターは，歩行速度（cm/秒），歩行周期時間（秒），立脚期割合（%），歩行率（歩/分），歩幅（cm），歩隔（cm），歩行周期時間変動係数（Coefficient of Variation：CV）値（%），歩幅 CV 値（%），歩隔 CV 値（%）とした。

歩行速度はマット上の通過時間の 2 試行の平均値を算出した。

歩行周期時間は一側の足部が地面に接地してから再び同側の足部が設置するまでの時間で，2 試行中に計測された全ての歩行周期時間の平均値を算出した。

立脚期割合は，歩行周期時間の中で一側の足部が地面に接している時間の割合で，2 試行中に計測された全ての立脚期割合の平均値を算出した。

歩行率は 1 分間あたりの歩数で 2 試行の平均値を算出した。

歩幅は一步における進行方向の距離，歩隔は一步における左右の足の幅で，それぞれ 2 試行中に計測された全ての歩幅/歩隔の平均値を算出した。

表 1 発達に遅れのある幼児と保育園通園児との比較

	発達に遅れのある幼児 <i>n</i> = 13	保育園通園児 <i>n</i> = 114	<i>p</i>	効果量
	平均 (SD)/ <i>n</i> (%)			
年齢 (歳)	4.5 (1.0)	4.4 (1.0)	<i>n.s.</i>	0.08
性別 (男児)	9 (69.2)	58 (50.9)	<i>n.s.</i>	
身長 (cm)	106.4 (10.1)	102.6 (9.7)	<i>n.s.</i>	0.39
体重 (kg)	17.7 (4.5)	16.2 (2.9)	<i>n.s.</i>	0.47
足長 (cm)	15.6 (1.5)	15.4 (3.4)	<i>n.s.</i>	0.06
歩行パラメーター				
歩行速度 (cm/秒)	103.1 (22.3)	102.0 (30.6)	<i>n.s.</i>	0.04
歩行周期時間 (秒)	0.8 (0.1)	0.8 (0.2)	<i>n.s.</i>	0.10
立脚期割合 (%)	59.4 (5.5)	58.9 (3.4)	<i>n.s.</i>	0.14
歩行率 (歩/分)	147.9 (29.0)	153.5 (30.0)	<i>n.s.</i>	0.19
歩幅 (cm)	41.3 (7.2)	39.4 (8.2)	<i>n.s.</i>	0.23
歩隔 (cm)	8.4 (1.3)	8.4 (2.1)	<i>n.s.</i>	0.01
歩行周期時間 CV 値 (%)	13.1 (6.8)	8.5 (8.2)	<i>n.s.</i>	0.56
歩幅 CV 値* (%)	16.6 (5.5)	8.5 (6.7)	<0.001	1.16
歩隔 CV 値 (%)	60.2 (22.6)	34.2 (20.2)	<0.001	1.19

n.s. : 有意差なし *CV 値 : 変動係数 (Coefficient of Variation) 値

また、歩行周期時間 CV 値、歩幅 CV 値、歩隔 CV 値は、歩行の変動性を評価する指標で¹⁷⁾、平均値を標準偏差 (standard deviation : SD) で除して 100 倍することで算出した。すなわち、2 試行中に計測された歩行周期時間、歩幅、歩隔のそれぞれの平均値を、各々の SD で除したものである。

3. 統計解析

発達に遅れのある幼児と保育園通園児の 2 群に分けて、基本属性および各歩行パラメーターに関して平均値および SD を算出した。その後、2 群間における基本属性および各歩行パラメーターの差を対応のない *t* 検定を用いて分析した。また、2 群間の差の効果量を Cohen の *d* を用いて算出した¹⁸⁾。効果量については、0.2~0.49 を小さな差、0.5~0.79 を中等度の差、0.8 以上を大きな差とした¹⁸⁾。

さらに、幼児の歩行パラメーターに影響を及ぼしうる年齢、性別、身長、体重、について両群の条件を統制するため、ロジスティック回帰分析を用いた傾向スコア法により、両群の年齢、性別、身長、体重をマッチングさせたサンプルを 1:1 の条件で抽出した。条件をマッチングさせた 2 群間における基本属性および各歩行パラメーターの差を対応のない *t* 検定を用いて再度分析した。

最後に、条件をマッチングさせた 2 群間の比較において統計学的な有意差を認めた歩行パラメーターに関して、発達に遅れのある幼児と保育園通園児の識別精

度を受信者動作特性 (Receiver Operating Characteristic : ROC) 曲線を用いて分析した。その際、カットオフ値については Youden index¹⁹⁾を用いて算出し、感度と特異度についても算出した。

なお、全ての統計解析は統計解析ソフト Easy R (EZR) (version 1.54)²⁰⁾を用いて分析し、統計学的有意水準は 5% とした。

Ⅲ. 結 果

発達に遅れのある幼児と保育園通園児との各歩行パラメーターの比較をした結果、歩幅 CV 値と歩隔 CV 値に有意差を認め、発達に遅れのある幼児では保育園通園児と比べて CV 値が大きいことを認めた (表 1)。両群で、年齢、性別、体格に統計学的な差は認めなかったが、効果量では身長と体重に小さな差がある可能性があった。そこで、発達に遅れのある幼児と保育園通園児の両群における、年齢、性別、身長、体重を傾向スコア法によりマッチングさせた結果、発達に遅れのある幼児と定型発達幼児の各 13 人を抽出し、両群の各歩行パラメーターの差を再度分析した。その結果、両群の各歩行パラメーターに、歩行周期時間 CV 値、歩幅 CV 値、歩隔 CV 値に有意差を認めた (表 2)。いずれも、発達に遅れのある幼児では保育園通園児と比べて有意に CV 値が大きかった。また、効果量についても、これらの項目では全て大きな差があった。

傾向スコア法によるマッチングをしたサンプルでの分析結果で有意差を認めた歩行周期時間 CV 値、歩幅

表 2 年齢と体格をマッチングさせた発達に遅れのある幼児と保育園通園児との比較

	発達に遅れのある幼児 <i>n</i> = 13	保育園通園児 <i>n</i> = 13	<i>p</i>	効果量
	平均 (SD)/ <i>n</i> (%)			
年齢 (歳)	4.6 (1.0)	4.5 (1.0)	<i>n.s.</i>	0.10
性別 (男児)	9 (69.2)	9 (69.2)	<i>n.s.</i>	
身長 (cm)	106.4 (10.1)	105.6 (8.0)	<i>n.s.</i>	0.09
体重 (kg)	17.7 (4.5)	17.1 (3.1)	<i>n.s.</i>	0.16
足長 (cm)	15.6 (1.5)	15.1 (4.6)	<i>n.s.</i>	0.15
TYPE-T (点)	64.3 (14.2)	—	—	—
歩行パラメーター				
歩行速度 (cm/秒)	103.1 (22.3)	102.5 (40.3)	<i>n.s.</i>	0.02
歩行周期時間 (秒)	0.8 (0.1)	0.9 (0.2)	<i>n.s.</i>	0.17
立脚期割合 (%)	59.4 (5.5)	58.4 (2.4)	<i>n.s.</i>	0.24
歩行率 (歩/分)	147.9 (29.0)	149.9 (42.3)	<i>n.s.</i>	0.06
歩幅 (cm)	41.3 (7.2)	40.3 (6.8)	<i>n.s.</i>	0.14
歩隔 (cm)	8.4 (1.3)	9.0 (1.8)	<i>n.s.</i>	0.38
歩行周期時間 CV 値 (%)	13.1 (6.8)	6.4 (3.8)	0.01	1.05
歩幅 CV 値 (%)	16.6 (5.5)	7.9 (4.7)	<0.001	1.30
歩隔 CV 値 (%)	60.2 (22.6)	26.0 (8.2)	<0.001	1.42

n.s. : 有意差なし *CV 値 : 変動係数 (Coefficient of Variation) 値

表 3 各 CV 値による発達に遅れのある幼児と保育園通園児の識別精度

	AUC ^a (95%CI ^b)	カットオフ値	感度	特異度
歩行周期時間 CV 値 ^c (%)	0.799 (0.626-0.972)	14.5	0.54	1.00
歩幅 CV 値 (%)	0.899 (0.783-1.000)	16.9	0.69	1.00
歩隔 CV 値 (%)	0.959 (0.892-1.000)	41.3	0.85	1.00

^aAUC : 曲線下面積 (Area under curve). 受信者動作特性 (Receiver Operating Characteristic : ROC) 曲線の曲線下面積^bCI : 信頼区間 (Confidence Interval)^cCV 値 : 変動係数 (Coefficient of Variation) 値. 平均値を標準偏差で除することで算出

CV 値, 歩隔 CV 値に関して, 発達に遅れのある幼児と保育園通園児の識別精度を ROC 分析にて検討したところ, 曲線下面積 (area under curve : AUC) は 0.80~0.96 であった (表 3)。なお, 最も AUC が大きな値を示したのは歩隔 CV 値であったが, Delong 法を用いて歩行周期時間 CV 値と歩幅 CV 値の AUC との差を比較したものの差を認めなかった。

IV. 考 察

本研究では, 発達に遅れがあり児童発達支援事業を利用している幼児の歩行の特徴を, 保育園通園児と比較することで検証した。なお, 本研究の対象児のうち, 医学的診断名があった子どもは 4 人のみであったが, KIDS のタイプ T および M-CHAT において発達の遅れや課題があると推察された幼児である。KIDS のタイプ T および M-CHAT はスクリーニングテストではあるが, 一定の外的妥当性も検証されている^{13, 14, 16)}。ま

た, 対象児の障害については ASD や ADHD などの複数の障害が含まれている可能性も高く, さらに, 複数の障害を併存している可能性もある。ただし, 臨床的には複数の障害が併存することが多いため^{1, 3)}, 本研究の対象児は臨床に即した特徴の集団であると考えた。なお, 今回の対象児は KIDS のタイプ T の結果から, 運動の遅れは軽度であるが, 社会性や生活習慣, 言語発達に遅れが目立つ子どもが多かった。そのため, 本研究の結果は運動面の遅れが顕著な子どもに対しては当てはまらない可能性はあると考えた。加えて, 比較対照とした保育園通園児については, 定型発達児を想定した集団であるが, 保護者や子どもの心理的負担を考慮し, 客観的な発達検査による確認はできていない。しかし, 発達障害の有病率を考慮し¹⁾, 発達に遅れのある幼児の約 9 倍のサンプル数を確保することで, 仮に発達障害の可能性のある子どもが集団に含まれている場合でも影響が限定的となるよう計画した。した

がって、本研究の結果については、何らかの発達障害を有する子どもと定型発達の子どもの比較結果として解釈することが可能であると考えた。

発達に遅れのある幼児と保育園通園児(定型発達児)の各歩行パラメーターを比較した結果、歩行周期時間 CV 値、歩幅 CV 値、歩隔 CV 値、のいずれも歩行の変動性を示す指標において有意差を認め、発達に遅れのある幼児では歩行の変動性が大きいことを認めた。一方で、速度、歩幅、歩隔などの時空間パラメーターには差がなかった。ただし、幼児における各歩行パラメーターは、年齢や身長などの体格の要因により大きく影響を受けるため¹⁰⁾、傾向スコア法を用いて厳密に歩行パラメーターに影響しうる変数を統制した分析も実施したが、結果は同じであった。主に学童期以降の子どもを対象とした先行研究においても、発達障害がある子どもでは歩行の変動性が大きいことが報告されている^{4,6,7)}。一方で、歩行の変動性以外の時空間パラメーターにおける差異についても報告がある^{4,8)}。本研究では、歩行の変動性に関する指標のみに差を認め、加えて、変動性に関するいずれの指標においても ROC 分析での AUC が 0.7 以上であり、発達の遅れの有無に対する高い識別能力があると考えた²¹⁾。これらのことから、幼児期における歩行の特徴として、歩行の変動性が大きいことである可能性が示されたと考える。つまり、歩行中の歩幅、歩隔、歩行周期時間が一定せずにばらついていることを意味していることから、発達に遅れのある幼児では歩行時の下肢の協調運動の調整に関して発達的な課題を有していると考えた。

発達に遅れのある幼児において、歩行の変動性が大きくなるメカニズムについては本研究だけでは明確に言及できない。ただし、歩行の発達において、歩行の変動性は他の時空間パラメーターとは異なる変化をすると考えられる。歩行速度や歩幅といったパラメーターは 4 歳ごろまでに大きく変化し、4 歳以降の変化は小さくかつその変化も体格の成長に依存する¹⁰⁾。一方、歩行の変動性については 11~14 歳ごろまで変化し、その変化は体格の成長には依存しないと報告されている²²⁾。したがって、定型発達児でも発達に時間を要する歩行の変動性に影響が現れやすい可能性が考えられる。さらに、歩行の変動性は、様々な部位の脳構造や脳機能と関連することが報告されており、特に下肢の協調運動やバランスの保持に関与する脳部位との関連があると考えられている²³⁾。ASD の子どもの歩

行特性には、小脳や大脳基底核の機能が関与していることを示唆している報告もあり²⁴⁾、発達に遅れのある幼児の脳機能不全が歩行の変動性に特徴的に現れている可能性もあると推測される。少なくとも本研究の結果から、発達に遅れのある幼児では、歩行の変動性が大きいことが特徴であり、その要因として下肢の協調運動やバランスが影響している可能性があることを示すことができたのではないかと考える。

本研究の限界について述べる。第一に、発達に遅れのある幼児について、一定の基準は設けたものの、明確な医学的診断名がない子どもや障害も多く、また単一の障害ではない子どもも多く含まれている可能性がある。したがって、本研究の結果が、障害の種類によって差異があるか否かは不明である。第二に、定型発達児を想定した保育園通園児であるが、保護者や子どもの心理的負担の問題から発達検査を実施できていないため、低体重出生児は除外したものの対象児のなかに発達に遅れがある幼児が含まれている可能性は否定できない。ただし、傾向スコア法によって抽出した保育園通園児のなかには表 3 に示す各 CV 値のカットオフ値を上回る幼児はいなかった。第三に、発達に遅れのある幼児と保育園通園児を識別する各 CV 値のカットオフ値については、前述したように対象児の属性やサンプルサイズの限界もあるため、現段階では絶対的な指標として使えるものではないと言える。第四に、歩行の変動性と他の症状や生活課題との関連性については、本研究では評価ができていないため言及できない。以上のような研究の限界はあるものの、発達に遅れのある幼児の歩行の特徴と歩行の発達における支援のための有益な情報につながる知見を得られた研究として意義のあるものであると考えた。

V. 結 論

発達に遅れのある幼児の歩行の特徴として、速度、歩幅、歩隔、歩行周期時間などの歩行の時空間パラメーターには影響がないが、歩行の変動性に影響が現れることが明らかになった。したがって、発達に遅れのある幼児では歩行時の下肢の協調運動の調整やバランスにおいて課題を有している可能性があるとし唆された。

謝 辞

今回の研究にご協力頂きましたハッピードリーム鶴間園長土橋一智先生、職員皆様へ深謝いたします。

本研究は, 第 69 回日本小児保健協会学術集会において発表した。

著者の役割

上出 (香) は研究の構想, 研究デザインの設定, 児童発達支援事業所および保育園でのデータ収集, 研究結果の解釈, 論文のドラフトの執筆を行った。上出 (直) は, 研究デザインの設定, 児童発達支援事業所におけるデータ収集, データの統計分析, 研究結果の解釈, 論文のドラフトの執筆を行った。内田, 中川, 水戸, 高橋は, 児童発達支援事業所でのデータ収集, 論文のドラフトに対する校閲を行った。野村と佐藤は保育園におけるデータ収集, 論文のドラフトに対する校閲を行った。なお, 全ての著者は研究論文の最終稿に対して承認をした。

本論文に関して, 開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 今村 明, 金替伸治, 山本直毅, 他. 神経発達症 (発達障害) とは. 最新医学 2018; 73: 1304-1310.
- 2) 角田 亘. 発達障害のリハビリテーション医療. Jpn J Rehabil Med 2021; 58: 406-411.
- 3) 斎藤まなぶ, 吉田恵心, 坂本由唯, 他. 5 歳児発達健診における発達障害の疫学. 日本生物学的精神医学雑誌 2016; 27: 60-64.
- 4) Kindregan D, Gallagher L, Gormley J. Gait deviations in children with autism spectrum disorders: a review. Autism Res Treat 2015; 2015: 741480.
- 5) Lum JAG, Shandley K, Albein-Urios N, et al. Meta-analysis reveals gait anomalies in autism. Autism Res 2021; 14: 733-747.
- 6) Manicolo O, Grob A, Lemola S, et al. Age-related decline of gait variability in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: support for the maturational delay hypothesis in gait. Gait Posture 2016; 44: 245-249.
- 7) Rosengren KS, Deconinck FJ, Diberardino LA, et al. Differences in gait complexity and variability between children with and without developmental coordination disorder. Gait Posture 2009; 29(2): 225-259.
- 8) Horata ET, Kundakci YE. Comparison of gait parameters under single- and dual-task conditions between children with specific learning disorder and typically developing children. Gait Posture 2022; 98: 128-133.
- 9) 田中敦士, 奥住秀之. 小児歩行の発達的变化—歩行速度, 歩幅, 歩幅率, 歩調からの検証—. Equilibrium Res 1996; 55(3): 270-274.
- 10) Sutherland D. The development of mature gait. Gait Posture 1997; 6: 163-170.
- 11) 小枝達也. 注意欠陥/多動性障害と学習障害の早期発見について. 脳と発達 2005; 37: 145-149.
- 12) 大村政男, 高嶋正士, 山内 茂, 他, 編. 三宅和夫監. KIDS (キッズ) 乳幼児発達スケール<手引>. 東京: 発達科学研究教育センター, 1989.
- 13) Robins DL, Fein D, Barton ML, et al. The modified checklist for autism in toddlers: an initial study investigating the early detection of autism and pervasive developmental disorders. J Autism Dev Disord 2001; 31(2): 131-144.
- 14) Aoki S, Hashimoto K, Ikeda N, et al. Comparison of the Kyoto scale of psychological development 2001 with the parent-rated kinder infant development scale (KIDS). Brain Dev 2016; 38(5): 481-490.
- 15) American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fourth edition text revision. Washington DC, Author: 2000. 高橋三郎, 大野 裕, 染矢俊幸 訳. DSM-IV-TR. 精神疾患の診断・統計マニュアル. 東京: 医学書院, 2002 : 253.
- 16) 太田秀紀. 乳幼児健診を活用した自閉症スペクトラム早期発見の試み. 子の心とからだ 2015; 24(1): 77-83.
- 17) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. Arch Phys Med Rehabil 2001; 82(8): 1050-1056.
- 18) Cohen J. A power primer. Psychol Bull 1992; 112(1): 155-159.
- 19) Youden WJ. Index for rating diagnostic tests. Cancer 1950; 3: 32-35.
- 20) Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. Bone Marrow Transplant 2013; 48(3): 452-458.
- 21) Apfel CC, Kranke P, Greim CA, et al. What can be expected from risk scores for predicting postoperative nausea and vomiting? Br J Anaesth 2001; 86: 822-827.
- 22) Hausdorff JM, Zeman L, Peng C, et al. Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its

- temporal organization in children. *J Appl Physiol* 1999; 86(3): 1040-1047.
- 23) Tian Q, Chastan N, Bair WN, et al. The brain map of gait variability in aging, cognitive impairment and dementia-a systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2017; 74: 149-162.
- 24) Rinehart NJ, Tonge BJ, Bradshaw JL, et al. Gait function in high-functioning autism and Asperger's disorder: evidence for basal-ganglia and cerebellar involvement? *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2006; 15 (5): 256-264.

[Summary]

Children with developmental disorders (neurodevelopmental disorders) have a range of symptoms and difficulties in daily living. Gait maturation is known to be affected, but the gait characteristics of infants with developmental disorders are unclear. This study aimed to investigate the gait characteristics of infants with developmental delays by measuring spatio-temporal gait parameters. The participants were children with developmental delays ($n=13$, 4.5 ± 1.0 years) and nursery school children ($n=114$, 4.4 ± 1.0 years). The nursery school children were considered typically developing (control group). Spatio-temporal gait parameters were compared between the children with developmental delays and nursery school children. As for spatio-temporal gait parameters, velocity, cadence, stride-time, rate of stance phase, step length, step width, stride-time variability, and step length and width variabilities were measured using a pressure-sensor walkway system. The children with developmental delays and nursery school children were compared after group-matching using the propensity score method by age, sex, height, and weight. After propensity score matching, 13 children with developmental delays and 13 nursery school children were included in the analysis. Consequent to comparing two groups, children with developmental delays had greater variability in stride-time, step length, and step width than nursery school children. The discriminative ability for variability in stride-time, step length, and step width between the children with developmental delays and nursery school children, as shown by the area under the curve of the receiver operating characteristic curve, ranged from 0.80-0.96. Overall, the gait characteristics in children with developmental delays were shown to have greater variability of spatio-temporal gait parameters. This finding suggested to have a disturbance in the rhythm of lower limb movement during gait.

Key words: developmental delay, typical development, gait parameter, gait variability