

原 著

## 歩行における上肢と下肢の連動性の発達過程に関する Preliminary study

平田 恵介

東京家政大学健康科学部リハビリテーション学科

埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究所基礎理学療法研究室

(2019年8月19日受付)

**要旨：**本研究の目的は幼児の歩行における四肢の協調性を定量化し、運動発達過程の縦断研究において用いる歩行の定量評価のための変数としての有効性を検討することだった。独歩を獲得している健常児3児（1歳女児，3歳男児，5歳女児）に対し，上下肢に貼付した赤外線マーカーから三次元座標データを取得し，上肢腕振りと下肢駆動の振幅の相互相関係数を算出することで，上下肢の位相性を分析した。結果として，5歳児のみ同側上下肢は逆位相に，対側上下肢は同位相に高く連動していた（ $r=0.8\sim 0.9$ ）が，1歳児と3歳児では差が見られなかった。本結果からは5歳児と1，3歳児の差は検出が可能と考えられたが，1歳児と3歳児の差の検出には至らず，より対象月齢を広げての検証と他の評価変数の検討が必要と結論づけた。

(日職災医誌, 68:105—108, 2020)

—キーワード—

発達, 歩行, 四肢

## 序 論

本邦において18歳未満の身体障害児は9.8万人<sup>1)</sup>を数え，その多くは先天性の疾患に起因する点から他の後天的疾患とは異なった生後早期からの医療的，社会的支援が求められる。2018年の調査<sup>2)</sup>では未就学障害児をもつ母親の有業率は5割程度であり，総務省<sup>3)</sup>による一般子育て世代における同年齢帯の有業率6割を下回っている。このことは，障害がその家族への経済的負担にも影響していることを示しており，障害児への支援が社会的課題であると言える。子どもの障害が発見される時期は概ね0～3歳までが多く，かつ家族の気づきに次いで乳幼児健診で指摘されることが多い<sup>4)</sup>。つまり，自治体またはその委託を受けた医療従事者による早期発見が求められている。

子どもの運動発達障害は，神経疾患（脳性麻痺や筋ジストロフィーなど）や広汎性発達障害などに一般的に見られる。近年米国精神医学会の定める診断統計マニュアルDSM-5内では，知的発達遅滞なしに巧みな運動が不得手となる発達性協調運動障害も注目されている<sup>5)</sup>。しかし，月齢ごとの定型発達マイルストーンは示されているものの，運動発達状況に個人差があるために，特に独歩獲得前後の月齢で異常性を判別することは困難なことが多い<sup>6)</sup>。独歩獲得前にハイハイをせずに座位でいざって移

動する児を shuffling (引きずる) baby<sup>7)</sup> と伝統的に呼ぶこともまた，その原因や発達上の異常が不明であることに他ならない。この解決には，検診結果などの大規模データに対する横断研究と個々の発達過程の精緻な動作を分析した縦断研究の双方が急務である。

ヒトの二足歩行は，上肢と下肢の協調運動が中枢リズム生成器 (Central Pattern Generator, CPG) により自動化されているとされる。これは四足歩行動物と共通しており，ヒトの場合，上肢の腕振りはバランス制御やエネルギー消費の削減に貢献しているとされている。先行研究<sup>8)</sup>では，腕振りは独歩の成熟とともに，ハイガードポジションから徐々に力学的貢献を果たす systematic な腕振りに発達していくとしている。本研究では独歩を獲得している1，3，5歳児の歩行における四肢の協調性を定量化して検討することで，運動発達過程の縦断研究において用いる歩行の定量評価のための変数としての有効性を検討することを目的とした。

## 対象および方法

## 1. 対象

独歩を獲得している健常児3児（1歳0カ月～2歳未満1女児，3歳0カ月～4歳未満1男児，5歳0カ月～6歳未満1女児）。いずれも出産前後，発達において医学的に異常を指摘されなかった。ヘルシンキ宣言に則って計画し，

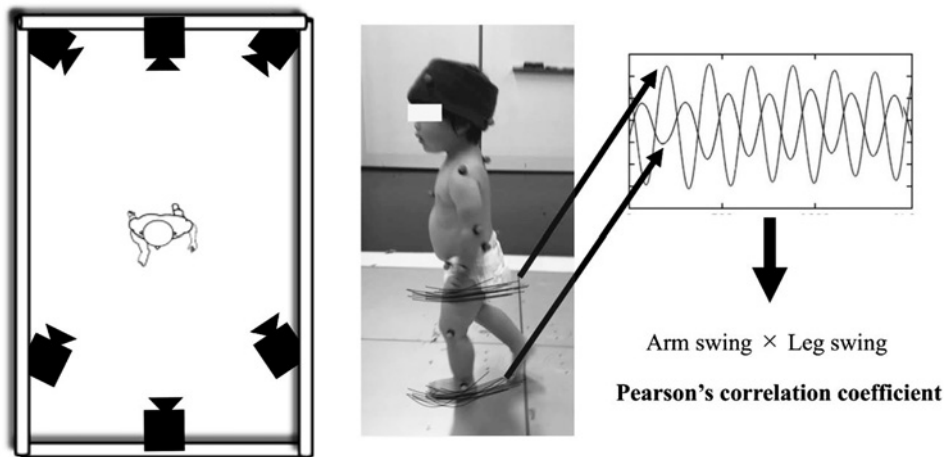


図1 実験環境と解析手順

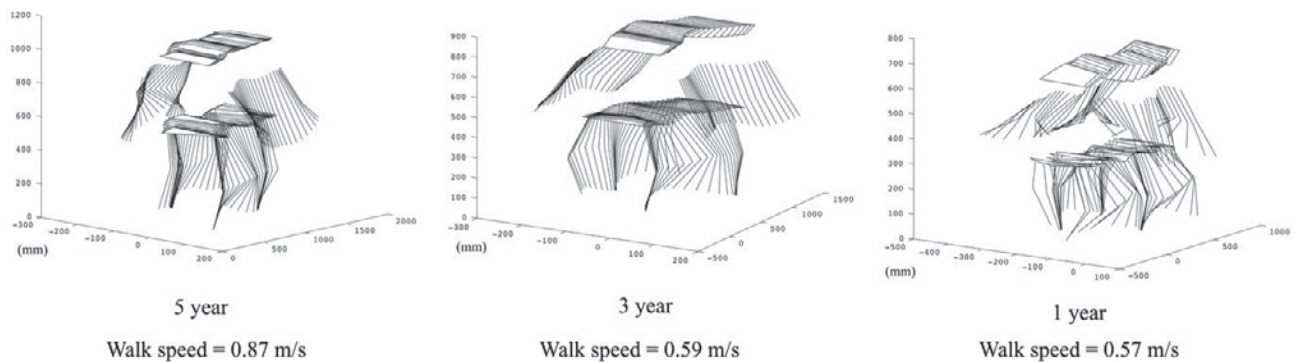


図2 被験者の歩行時のスティックピクチャ

研究者の所属する倫理審査委員会の承認（承認番号 健2019-9）を得、対象者の保護者に説明と同意を得た上で実施した。

## 2. 計測と解析（図1）

14mm 反射マーカー 18 個（頭部 4、骨盤 4、体幹 2、上腕 2、前腕・手 2、大腿 2、下腿・足 2）を貼付した。被験者の自由歩行を 6 台の赤外線カメラにより三次元動作解析装置 VICON（Vicon Motion Systems 社製，VICON，UK）でサンプリング周波数 100Hz で計測し、剛体リンクモデル化した。被験者には計測空間内で快適歩行を 3 試行行った。1 歳児に関しては転倒や立ち止まりがない 3 試行が計測できるまで実施した。上肢は肩峰に対する手部を、下肢は骨盤上前上後腸骨棘中心に対する外果の軌跡の振幅を抽出し、上肢と下肢で相互相関係数を算出することで、上下肢の位相性を分析した。全ての分析には数値解析ソフトウェア（Matlab2019a，Mathworks 社製）を用いた。n 数を考慮し統計的分析を避け、preliminary study として各被験者の数値を定性的に比較した。

## 結 果

本研究において計測した被験者においては、1 歳児においてもハイガードポジションは見られなかった（図 2

でスティックピクチャにて図示）。結果として 1 歳児は立ち止まりのない 3 試行を計測するまでに計 5 回歩行を行い、計測中の転倒もなかった。各 3 試行の平均歩行速度は、5 歳児で 0.87m/s と同年齢を対象とした先行研究の結果に近似した快適歩行速度であった<sup>9)</sup>。それに対し、3 歳児と 1 歳児では 0.57~0.59m/s であった。また、歩行時の頭部の前額面上の最大移動量は 5 歳児で 0.10m、3 歳児で 0.17m、1 歳児で 0.41m と顕著に 1 歳児が大きかった。

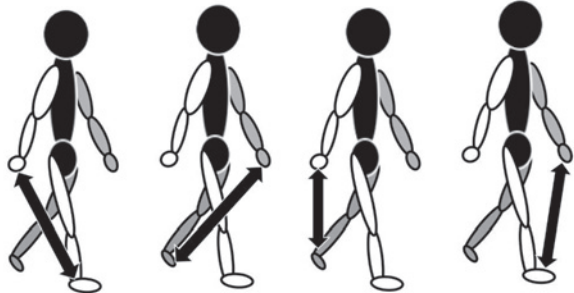
表 1 に示すように、5 歳児において上下肢の全ての組み合わせで最も相互相関係数が正または負に高い結果となった。この結果は、同側上下肢（右上肢と右下肢、左上肢と左下肢）では逆位相に、対側上下肢（右上肢と左下肢、左上肢と右下肢）では同位相に高く運動していたことを示している。

3 歳児と 1 歳児は 5 歳児に比べて低い相関係数で、3 歳児と 1 歳児の両者には一貫した差はなかった。左上肢と左下肢、左上肢と右下肢の組み合わせでは、相関係数の年齢帯で段階的な違いが部分的に見られた。

## 考 察

今回、歩行時の上下肢間の振幅の相互相関係数からは

表1 相互相関係数の結果



Year	右上肢右下肢	左上肢左下肢	右上肢左下肢	左上肢右下肢
5	-0.8	-0.9	0.9	0.9
3	-0.2	-0.4	0.3	0.3
1	-0.4	-0.1	0.2	0.1

年齢に伴って上昇する傾向を示唆する結果になった。歩行時の上下肢の振幅の相関分析の結果、発達に伴って下肢の駆動と上肢の振りの運動性が高まることがわかった。本結果は、直立歩行時に同側下肢との交互に生じる大人同様の腕振りが初期の独歩では観察されないが、バランスの改善と並行して現れるとした Ledebt<sup>10)</sup>の論旨を支持した。

腕振りは1歳未満児の独歩はもちろんのこと、抗重力姿勢の保持もままならない月齢でも、トレッドミル上に足を配置することで下肢の駆動と上肢の腕振り様の運動が発現することが Lacquanniti らのグループによって証明されており<sup>11)</sup>、腕振りが生得的に四肢と脊髄内に備わっている連続的、周期的運動機構であることを示している。スティックピクチャから本研究被験者の1歳児においても腕振り自体は下垂位近くで顕著に観察された。近年、独歩初期のハイガードポジションは転倒時の予備的防御（ガード）ではなく、未熟なバランス制御に貢献するものであるとされている<sup>12)</sup>。本被験者は10カ月末より独歩を始めたとのことで、計測時時点で独歩が成熟していたことが予測され、3歳児との差が顕著に広がらなかったことが推察される。ただし、頭部の最大の前額面移動幅には1歳児に他の2者に比べ大きな差が見られ、左右方向の振動からは歩行の不安定性がうかがえる。今後、1歳児、3歳児は運動機能の発達に伴い5歳児と同様の下肢と連関したsystematicな腕振りへと進展していくことが予想される。

本研究は小児の歩行の運動発達過程を縦断的に追跡する際に、四肢の協調性が定量的評価変数に有用であるかを3つの月齢児で比較することで検証した。結果的には5歳児と1、3歳児の差は検出が可能と考えられたが、1歳児と3歳児の差の検出には至らず、より対象月齢を広げての検証と他の評価変数の検討が必要と結論づけた。

利益相反：利益相反基準に該当無し

## 文献

- 厚生労働省：平成18年身体障害児・者実態調査。 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/index.html> (参照2019-8-15)。
- 関 陸美, 長谷川美香, 出口洋二：障害児を持つ母親の養育態度への影響要因。家族看護研究 23(2)：128—139, 2018。
- 総務省：平成29年就業構造基本調査。 <https://www.stat.go.jp/data/shugyou/2017/pdf/kgaiyou.pdf> (参照2019-8-15)。
- 東谷敏子, 林 隆, 木戸久美子：発達障害児を持つ保護者のわが子の発達に対する認識についての検討。小児保健研究 38：38—46, 2010。
- 高橋三郎, 大野 裕：DSM-5精神疾患の診断・統計マニュアル。2014。
- 小沢愉理, 小沢 浩：乳幼児期の運動発達のチェックポイント。小児科診療 53：645—652, 2016。
- Robson P: Shuffling, hitching, scooting or sliding: some observations in 30 otherwise normal children. Dev Med Child Neurol 12: 608—617, 1970。
- Burnett CN, Johnson EW: Development of gait in childhood: Part II. Dev Med Child Neurol 13: 207—215, 1971。
- Schwartz MH, Rozumalskia A, Trosta JP: The effect of walking speed on the gait of typically developing children. Journal of Biomechanics 41: 1639—1650, 2008。
- Ledeht A: Changes in arm posture during the early acquisition of walking. Infant Behav Dev 23: 79—89, 2000。
- Scaleia VL, Ivanenko Y: Early manifestation of arm-leg coordination during stepping on a surface in human neonates. Experimental Brain Research 236: 1105—1115, 2018。
- Kubo M, Ulrich B: A biomechanical analysis of the 'high guard' position of arms during walking in toddlers. Infant Behavior & Development 29: 509—517, 2006。

別刷請求先 〒350-1398 埼玉県狭山市稲荷山2-15-1  
東京家政大学健康科学部リハビリテーション学科

平田 恵介

**Reprint request:**

Keisuke Hirata

Tokyo Kasei University, Department of Health Sciences,  
Faculty of Rehabilitation, 2-15-1, Inariyama, Sayama-city, Sai-  
tama, Japan

**Preliminary Study on the Motor Developmental Process of Coordination between Upper and Lower Limbs of Children in Walking**

Keisuke Hirata

Department of Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Tokyo Kasei University  
Fundamental Physical Therapy Research Laboratory,  
Graduate Course of Health and Services, Graduate School of Saitama Prefectural University

The purpose of this study was to qualify the coordination of limb during gait in toddler to validate the effectiveness as a parameter to qualify the gait in the motor development process. For the children of 1, 3 and 5 years old, three-dimensional marker trajectory data were collected using a motion-capture system. Pearson correlation coefficients were calculated for arm swings versus leg swings. In the child of 5 years, the correlation coefficients between the arm and leg swings were higher than the children of 1 and 3 years. Our results were suggested that the coordination of limbs could verify between 5 years and 1 or 3 years. However, it could not verify between 1 and 3 years. We conclude that another verification in the wide range of age is needed.

(JJOMT, 68: 105—108, 2020)

**—Key words—**

Development, Walk, Limb