

満4歳児の走動作におけるキネマティクスの分析

Kinematic analysis of the running movement in 4-year-old children

山本紗綾¹⁾・春日晃章²⁾・福富恵介²⁾・内藤 譲³⁾・門田理代子⁴⁾・高木雄基¹⁾

Saya Yamamoto¹⁾, Kosho Kasuga²⁾, Keisuke Fukutomi²⁾, Yuzuru Naito³⁾,
Riyoko Kadota⁴⁾ and Yuki TAKAGI¹⁾

- 1) 岐阜大学大学院教育学研究科
Graduate School of Education, Gifu University
- 2) 岐阜大学教育学部保健体育講座
Department of Physical Education, Faculty of Education, Gifu University
- 3) 岐阜県スポーツ科学トレーニングセンター
Gifu Sports Science Training Center
- 4) 中村学園大学短期大学部
Department of Early Childhood Education Nakamura Gakuen University Junior College

キーワード：4歳児, 走動作, キネマティクス, 膝関節

Key words：4-year-old children, running movement, kinematics, the joint of the knee

【Abstract】

The purpose of this study was to clarify the kinematic characteristics of running movements in 4-year-old children. The subjects were twenty boys and girls, who were divided into 2 groups of 10 children each—the upper (U) and lower (L) groups—on the basis of their physical test results; the running movement in these children were recorded using a video camera. 21 markers were applied to the bodies of the children, and their movements were recorded while they ran a distance of 25 m. Our findings showed a significant difference in stride (U: 0.94 ± 0.05 m; L: 0.71 ± 0.13 m) and pitch (U: 3.44 ± 0.84 steps/s; L: 2.01 ± 0.65 steps/s), between the 2 groups. Moreover, a significant difference was observed with respect to the minimum crookedness angle of the knee joint (U: $53.9 \pm 8.50^\circ$; L: $68.3 \pm 17.3^\circ$), the speed of bending of the knee joint (U: 4.00 ± 0.26 m/s; L: 2.76 ± 0.60 m/s) and displacement of the right and left of the knee joint (U: 0.06 ± 0.01 m; L: 0.08 ± 0.03 m). Also, a significant difference was admitted among boys and girls at the center of gravity displacement (B: 0.04 ± 0.02 m; G: 0.05 ± 0.01 m) and the pitch (B: 3.10 ± 0.87 steps/s; G: 2.4 ± 1.07 steps/s). We believe that compared to the movement of the upper body, the movement of the lower half of the body has a greater influence on running-associated movements in 4-year-old children, and that this could be responsible for the differences in the running abilities (excellent vs. inferior) of children.

I. 緒言

近年, 子どもの体力・運動能力の低下が指摘され, 大きな社会問題となっている. 文部科学省が継続的に実施している「体力・運動能力調査」¹⁾によると, 子どもの「走・跳・投」といっ

た基礎的な運動能力および筋力は, 1985年前後をピークに著しく低下し, 依然低い水準が続いている. また, 親の世代である30年前との比較では, ほとんどのテスト項目において子どもの世代が親の世代を下回っている. その背景とし

て、小林ら²⁾は、運動実施状況の二極化の問題が影響しており、年々運動不足の子どもが大きな問題であると指摘している。

中でも、走動作は、日常生活における遊びや運動に関わる基礎的な身体動作であるため、発達段階に見合った動作を獲得することは非常に重要である。宮丸³⁾は、走動作は2歳前後で歩行からの自然の延長として系統発達の獲得され、その後経年的に著しく高まり、6歳前後で成人に近い成熟した走動作へ発達すると述べている。また、マイネル⁴⁾は、幼児期および児童期は、運動発達が顕著にみられる時期であり、人間の生涯にわたる運動全般の基本となる動きが急激に、また多彩に習得されると説明している。つまり、幼児期での走動作の習得は、その後の発達に大きく影響を及ぼす可能性があると考えられる。

これらを踏まえ、発育発達に見合った走動作習得の過程やポイントを明らかにすることで、幼児の走動作の向上を促すことができると考えられる。身体の動かし方を理解すると、身体を動かすことが好きになり、自ら外遊びやスポーツを意欲的に行う動機づけとなる。特に幼児期においては、何事にも意欲・関心を示す傾向にあるため、その時期に興味・関心に繋がるサポートをしていくことがキーポイントになると考える。そうすることで、意欲的に外遊びや運動遊びに参加する動機づけとなり、体力の低下や二極化といった問題点の改善に繋がると考えられる。

これまで幼児の走動作における疾走速度、身体重心、ピッチおよびストライドに関する研究は見られるが、3歳年少児の全力疾走フォームをキネマティクスの観点から詳細に分析したものはみられない。

そこで、本研究は、走行タイム別に3歳年少児を疾走能力の高い群及び低い群にわけ、その走動作を比較検討し、群間にみられる特徴をキネマティクスの観点から明らかにし、走動作を詳細に分析することで、保護者や保育者への3歳児の疾走能力の向上にむけた指導の一助となるポイントを見つけ出すことを目的とした。

II. 研究方法

1. 対象

本研究の対象者は、年少男児105名、女児118名から、25m走のタイム順に従って、男女各々疾走能力の高い群（以下、上位群）各5名（男児：6.44±0.27秒、女児：7.04±0.36秒Tスコア60以上）と疾走能力の低い群（以下、下位群）各5名（男児：10.2±1.10秒、女児：10.6±0.67秒Tスコア35以下）の合計20名であった。

2. 走動作撮影方法

幼児の走動作を4台のデジタルカメラ（CASIO EX-F1）を用いてハイスピードモード毎秒300コマ、シャッタースピード1/1000秒で撮影した。カメラ設置場所は進行方向に対して、右、正面、左前、左後とし、撮影範囲は前後方向3m、左右方向2m、高さ1.8mとした。DLT法により測定点の3次元分析を算出するため、動作撮影後、撮影範囲のキャリブレーションを行った。なお、試技に先立ち、幼児には身体各セグメント端点21点に直径約2cmの白色マーカーを貼付し、分析時におけるデジタイズ作業の助けとした。

3. 動作分析及び解析方法

ハイスピードモードによる映像をもとに、Frame-DIASIV（DKH社製）を用いて身体計測点21点を毎秒100コマでデジタイズし、離地から次の同足離地の1サイクルの解析を行った。上位群及び下位群を男女別に比較検討するため、対応のない二要因分散分析を適用した。統計解析にはExcel統計2012（SSRI社製）を利用し、統計的有意水準は、全て5%未満とした。

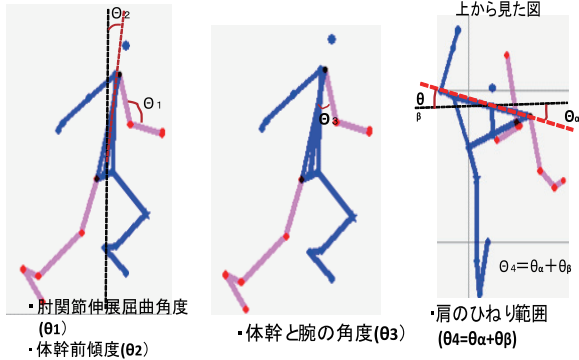
4. 分析項目

本研究では、分析の視点を上肢および体幹、下肢、身体重心と大きく3つに分類し、それぞれに分析項目を設けた。

1. 上肢および体幹における分析項目

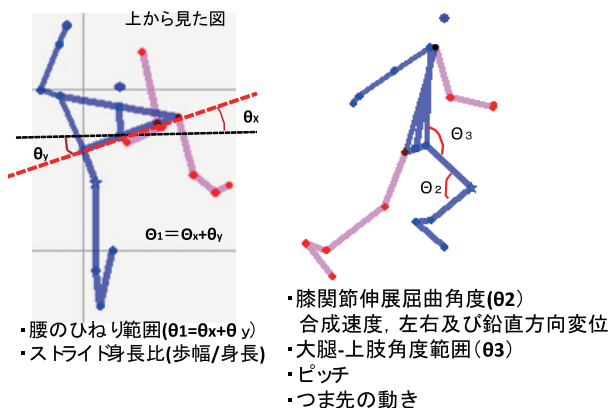
上肢および体幹分析項目は、腕振りの伸展-屈曲角度範囲 (θ_1)、腕振りの最大伸展角度、腕振りの最小屈曲角度、体幹の前傾度 (θ_2) および体幹-腕の角度範囲 (θ_3) を肩のひねり範囲

($\theta_4 = \theta_\alpha + \theta_\beta$) を算出した。体幹-腕の角度は右肩峰と右大転子を結んだ線分と右肩峰と右肘を結んだ線分のなす角度とした。腕振り角度は、右肘と右肩峰の線分と右肘と右手首を結ぶ線分のなす角度とした。



2. 下肢における分析項目

下肢分析項目は、つま先の進行方向に対する左右変位、鉛直方向の変位、ピッチ、ストライド、ストライド/身長、腰のひねり範囲 ($\theta_1 = \theta_x + \theta_y$)、膝最大伸展角度、膝最小屈曲角、膝伸展-屈曲角度範囲 (θ_2)、左膝の進行方向に対する左右の変位、左膝鉛直方向変位、膝合成速度および大腿-体幹角度範囲 (θ_3) とした。



3. 身体重心における分析項目

身体重心分析項目は、身体重心/身長の平均値、最大値、最小値および重心変位とし、身体重心出すため、横井ら⁵⁾の幼児の身体部分係数を用いて算出した。

III. 結果および考察

動作分析の結果、3つの分析視点においてそれぞれ以下の結果を得た。

1) 上肢および体幹動作

解析の結果、上肢および体幹においていずれの分析項目においても群間に有意な差は認められなかったが、男女共に肩のひねり範囲、体幹前傾度および肘最大伸展角度において上位群が大きな値を示した。腕振り動作において、上位群では後方スウィングで肘が伸び、前方へのスウィング時には屈曲がしっかり行われている腕振りが多くみられ、下位群では腕振りが積極的でないものや、バランスをとる程度の腕振りが多くみられた。腕振りに視覚的な特性はみられたものの、数値として有意な差が認められないのは被験者が満4歳児ということで走動作も完成されず未熟であるためだと推察されるとした。

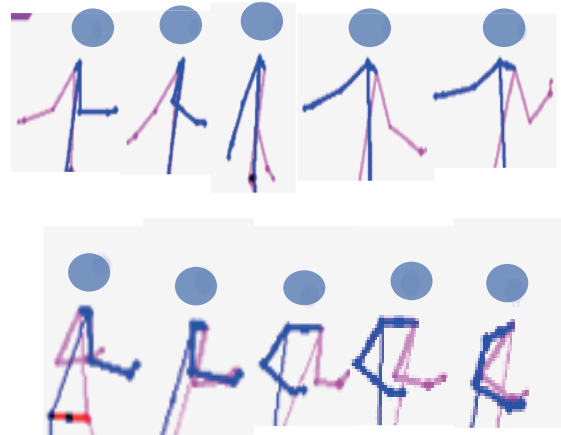


図1 腕振りの様子を表したスティックピクチャー (上: 上位群 下: 下位群)

表 1 上肢分析結果

項目	上位群		下位群		分散分析		多重比較検定 交互作用
	男児	女児	男児	女児	群	性	
肩のひねり範囲(度)	35.1±13.8	42.6±6.43	35.4±11.2	29.1±6.01	ns	ns	ns
体幹前傾度(度)	10.6±4.22	9.73±1.97	9.99±3.68	8.71±3.81	ns	ns	ns
体幹 肘範囲(度)	69.3±17.1	83.2±20.2	74.2±36.7	66.7±15.1	ns	ns	ns
肘最大伸展角度(度)	165±15.0	140±31.1	143±31.8	130±28.0	ns	ns	ns
肘最小屈曲角度(度)	110±26.6	97.8±25.8	112±24.7	97.2±27.2	ns	ns	ns
肘伸展屈曲角度範囲(度)	55.3±28.9	42.5±16.0	30.8±21.3	33.2±7.42	ns	ns	ns

注)表中の数値は平均値±標準偏差を示したもの **p<0.01 *p<0.05 ns=no significant

2) 下肢動作

下肢分析項目において、つま先鉛直変位、ピッチ(歩/秒)、ストライド(身長比)、腰のひねり範囲、膝最小屈曲角度、膝左右変位、膝合成速度において有意な差が認められた。ピッチは、性別および群間で有意な差が認められた。ストライド(身長比)においては交互作用が認められ、下位群の女児が特に小さな値を示した。

この結果は、加藤ら⁶⁾が4歳児から7歳児を対象に疾走速度から群わけをして比較検討したものと同様、ピッチおよびストライド(身長比)は男女ともに上位群が大きな値を示した。上肢の分析結果を考慮すると、腕振りを積極的に行うことによって連動して下肢の動きも大きくなり、ストライドが広がる。このことが疾走速度を速める一要因となっていると推定できる。

宮丸⁹⁾は、ピッチは2~3歳児までに4.2~4.3歩/秒となると報告したが、本研究では、これにあてはまる対象者もいたが、各群の平均値はそれより小さな値を示した。また、腰のひねり範囲および膝関節の動きにおいて屈曲運動、合成速度において有意な差が認められたことから、上位群は下位群に比べ、より速く脚を前に持っていくことができ、屈曲動作を経て生み出した力を推進力に変えていると考えられる。屈曲動作において、膝下のひきつけが強いことは屈曲角度およびスティックピクチャーにおいても窺える。接地後の足が臀部の近くまできており、(図2-③)接地後の足の戻りが速いことがピッチの速さにもつながっていると推測できる。さ

らに腰のひねりを使い、足を前にだして走ることができているため、ストライドも広くなると考えられる。接地後の遊脚の膝も進行方向にむいており(図2-④)進行方向に力を伝えることができている。一方で、下位群は、接地後のひきつけが弱く、(図3-②)すり足に近い動きとなっている。接地後の遊脚の膝は上方向にむいており(図3-②)、進行方向への力が上向きに逃げ、さらに膝が上向きになることで腰が落ちる姿勢になる。膝の左右変位が大きいことから、疾走中膝が内側に入るもしくは外側にわれる動作が入っていることが考えられる。以上の要因が疾走速度に影響を及ぼしていると推測される。

膝の引きつけ動作を意識させるために、ミニハードルや縄跳び、垂直跳びを取り入れていくことがよいと考える。これらを取り入れることで屈曲運動を行えるだけでなく、上肢と下肢の連動も意識できるようになる。



図2 下肢動作における1サイクルのスティックピクチャー（上位群）

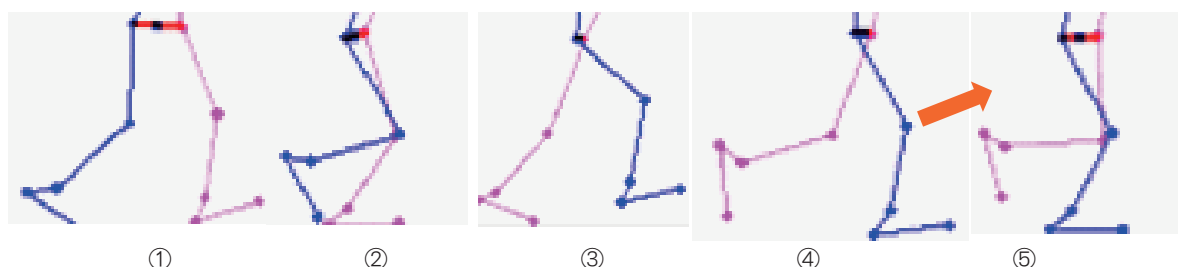


図3 下肢動作における1サイクルのスティックピクチャー（下位群）

表2 下肢分析項目の結果

項目	上位群		下位群		分散分析		多重比較検定 交互作用
	男児	女児	男児	女児	群	性	
つま先左右変位(度)	0.07±0.03	0.10±0.02	0.11±0.04	0.11±0.03	ns	ns	ns
つま先鉛直変位(度)	0.27±0.08	0.27±0.06	0.20±0.11	0.11±0.02	** (p=0.0031)	ns	ns
ピッチ(歩/秒)	3.56±1.06	3.31±0.63	2.65±0.24	1.49±0.25	** (p=0.0002)	*(p=0.0266)	ns
ストライド/身長(m)	0.92±0.04	0.96±0.05	0.79±0.13	0.62±0.06	** (p=0.000)	ns	** (p=0.006)
腰のひねり範囲(度)	61.8±18.3	46.4±12.6	45.3±8.11	36.3±14.6	*(p=0.0472)	ns	ns
膝最大伸展角度(度)	154±12.2	153±5.45	156±11.8	158.7±11.3	ns	ns	ns
膝最小屈曲角度(度)	53.0±10.1	54.8±7.89	59.3±19.9	77.3±8.34	*(p=0.021)	ns	ns
膝伸屈曲角度範囲(度)	101±19.1	99.1±8.00	96.3±30.9	81.4±5.62	ns	ns	ns
膝左右変位(度)	0.05±0.01	0.06±0.01	0.08±0.03	0.07±0.03	*(p=0.0432)	ns	ns
膝合成速度(m/S)	4.10±0.32	3.90±0.16	3.18±0.46	2.33±0.40	** (p=0.000)	** (p=0.0037)	
大腿ひきあげ角度(度)	69.8±23.0	56.6±6.34	58.6±13.2	55.9±9.42	ns	ns	ns

注)表中の数値は平均値±標準偏差を示したもの ** : p<0.01 * : p<0.05

3) 身体重心

身体重心分析項目において、男女間で身体重心鉛直変位（身長比）に有意な差が認められた。先行研究では、小学校段階で男女の身体重心鉛直変位において、有意な差があることが言われているが、すでにこの時期においても影響がでている可能性があると窺える。

宮丸ら⁷⁾は、「疾走中の身体重心の最下点から最高点までの鉛直変位は、男子が3～4cm、女子が4～5cmの範囲にあり、その身長に対する比(%)も3～4%である。」と説明したが、本

研究においては男児が3.9cm±1.5cm、女児が5.4cm±1.1cmとやや大きな値となった。また身体重心変位の身長に対する比も上位群男児を除いて、これにはあてはまらなかった。

Fortney⁸⁾は2歳、4歳、6歳児の疾走中の身体重心の鉛直変位を算出し、「2歳児の平均は3.6cm、4歳児の平均は5.7cm、6歳児の平均は6.2cmであった。」と報告している。

これを考慮すると、本研究においても3.6cmから5.7cmの間に集中しているため、同様の結果が得られた。上位群は下位群と比較すると身体重心鉛直変位の値が小さい。このことから、上下動が少ないと、進行方向にスムーズに進むことができ、重心移動をすることができるため疾走速度も上がってくると推測される。一方で、上下動が大きいということは、はねるような走りになっていることが窺え、推進力が上下に分散されてしまっていることが考えられる。

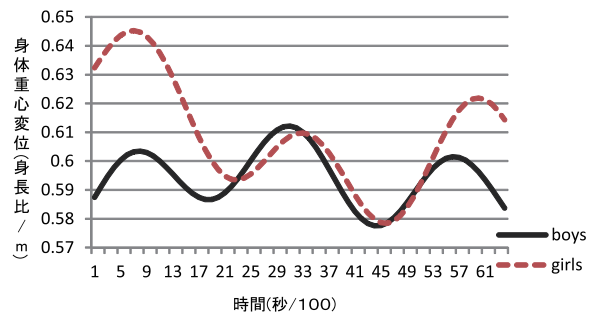


図4 男児と女児の1サイクルの身体重心鉛直変位

表3 身体重心における分析結果

項目	上位群		下位群		分散分析		多重比較検定 交互作用
	男児	女児	男児	女児	群	性	
身体重心鉛直変位/身長(m)	0.03±0.01	0.05±0.01	0.05±0.02	0.06±0.01	ns	*(p=0.0173)	ns
身体重心最大値/身長(m)	0.59±0.01	0.61±0.02	0.60±0.03	0.59±0.02	ns	ns	ns
身体重心最小値/身長(m)	0.56±0.00	0.56±0.01	0.56±0.01	0.54±0.02	ns	ns	ns
身体重心平均値/身長(m)	0.58±0.01	0.58±0.02	0.58±0.01	0.58±0.04	ns	ns	ns

注) 表中の数値は平均値±標準偏差を示したもの ** : p<0.01 * : p<0.05 ns=non significant

V. 引用参考文献

- 1) 文部科学省体力運動能力調査
- 2) 小林寛道：現代の子どもの体力-最低限必要な体力とは-, 体育の科学, p49, p4-19 1999
- 加賀勝, 高橋香世, 清野佳紀：運動実施頻度の二極化について 日本小児科学会雑誌, p108 625-634 2004
- 平川和文, 高野圭：体力の二極化傾向において両極にある児童生徒の特徴, 発育発達研究37 p57-67
- 3) 宮丸凱史：幼児の基礎的運動能力におけるMotor Patternの発達-1-幼児のRunning Patternの発達過程, 1975
- 4) マイネル：金子朋友訳：スポーツ運動学, p299-310 1981
- 5) 横井孝志, 渋川侃二, 阿江通良：日本人幼少年の身体部分係数, 体育学研究, 31-1, 53-66, 1986
- 6) 加藤謙一, 宮丸凱史, 横井孝志, 阿江通良, 中村和彦：幼児の疾走動作の発達に関する研究-疾走速度の異なる幼児の疾走動作について-日本体育学会大会号 (36), 400 1985-08-20
- 7) 宮丸凱史, 横井孝志, 阿江通良, 加藤謙一, 中村和彦, 久野譜也：身体重心および脚の重心の軌跡からみた幼児の走動作の発達体育科学系紀要 10, 299-310, 1987
- 8) Fortney, V.L : The Kinematics and Kinetics of the Running Pattern of two-, Four-, and Six-year-old Children, Res.Quart, 54-2p. 126-135, 1983