

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

宮丸 凱史・横井 孝志*・阿江 通良
加藤 謙一**・中村 和彦・久野 譜也***

Development of running motion in young children on the path of the center of gravity of the whole body and the leg

Masashi MIYAMARU, Takashi YOKOI, Michiyoshi AE
Kenichi KATO, Kazuhiko NAKAMURA, Shinya KUNO

The purpose of this study was to cross-sectionally investigate the development of running motion in young children, focusing on the path of the centers of gravity for the whole body (CG) and the leg (Leg CG) as primary variable.

Subjects were 94 boys and 106 girls ranging from three to seven years of age. Running motion in maximum sprinting was filmed with a 16mm cinecamera operating at 50 fps. Body segment parameters of young children were obtained by using a method of Yokoi's (1985) mathematical model.

The location of the CG, the Leg CG, and the toe during running were obtained by standard cinematographical technique. The impulse per body mass during the support phase and selected joint angles at the foot contact, the lowest point of the CG and the foot takeoff were also calculated.

The results were summarised as follows;

- 1) Running velocity, step length and flight time/support time showed remarkable increase with age, while step frequency showed no appreciable change. Therefore, the remarkable increase in running velocity did not depend on the step frequency, but on the increase in step length.
- 2) Absolute vertical displacement of the CG was ranged 3 to 4 cm in boys and 4 to 5 cm in girls. CG height/body height ranged 0.53 to 0.54 at the contact, 0.52 to 0.53 at the lowest point, and 0.55 to 0.56 at the highest point. Both variables showed no clear change due to aging and sex difference.
- 3) Horizontal displacement of the CG during one step increased with age. Only the horizontal displacement of the CG during the nonsupport phase in the ratio to the body height increased with age. Averaged ascending angle from the lowest to the highest point of the CG decreased with aging. The horizontal impulse per body mass showed no appreciable change and vertical impulse per body mass increased with aging although support time decreased.
- 4) These results reveal that the undulating path of the CG for young children changed to flatter one, namely the running motion of young children became less bouncy with increase in age.
- 5) Horizontal and vertical displacement of the path of the Leg CG and the toe relative to the trochanter as a reference point increased with age. However, in the ratio to the body height, the vertical displacement of both paths showed remarkable increase with aging than the horizontal

* 筑波大学大学院博士課程体育科学研究科

** 宇都宮大学教育学部

*** 筑波大学大学院修士課程体育研究科

displacement. The knee flexion of the free leg at the contact of the support leg, the lowest point and the takeoff, and the lift of the free leg at the take off were increased with age. These results suggested that the motor pattern of the leg during running gradually changed to the rotatory pattern covering larger range of motion.

6) The sex difference of running motion in young children were found. The step frequency in boys was greater than that of girls. The vertical displacement during one step, the horizontal displacement during nonsupport phase, the vertical impulse during the second half of the support phase, and the ascending angle of the CG for the girls were greater in each age than those of the boys. These results indicate that the girls' running motion can be characterized by the greater amount of vertical oscillation of the CG than boys'.

I. 緒 言

ヒトは成熟につれて歩行動作を身につけ、引き続いて走動作を獲得する。始歩期が明確にとらえられるのに比べれば、走動作の最初の出現時期はそれほど厳密ではないが、走に先立って、まず歩行のコントロールがかなりよくなり、やがて18~21ヶ月頃にぎこちない走動作が出現し^{2,5,6,18)}、24ヶ月になればほとんどの子どもはかなり安定した走動作を獲得する¹⁷⁾。

初期の走動作は、fast walkに類似したもの⁵⁾、あるいはmodified walk²⁾と形容されるように走運動としての最小限の条件（ごくわずかな滞空局面）を備えた未熟なものであるが、その後加齢につれて走動作は急速に改善され、6~7歳頃には、成人型にかなり近い走動作パターンを身につけるとみられる^{7,10,11,18)}。

幼少年期の走運動の発達に関する研究には、これまで走速度や疾走時間などのパフォーマンスを指標としてなされたものが多いが、この年代の運動発達の特性を考慮すれば、むしろそれらのパフォーマンスを生み出した走動作そのものの質的な変容過程に着目する必要がある¹⁹⁾。

幼児期の走動作の発達に関する研究は、歩幅、歩数、走動作中の身体各部位の変位や関節角度、あるいは地面反力や筋電図などを手がかりとして行われてきている^{1,4,7,12,15,18)}。しかし、走動作中の身体重心や脚の重心の軌跡に着目して、幼児の走動作の発達をとらえた研究はほとんどみられず、限られた年齢の幼児について身体重心の鉛直変位を算出した報告³⁾があるにすぎない。これは、適切な幼児の身体部分係数がなかったことによると思われる。

本研究は、横井²⁰⁾の方法により求めた3歳から

7歳の幼児の身体部分係数を用いて、幼児の疾走動作（1歩）における身体重心および脚の重心の軌跡を求め、それらの水平・鉛直変位、および従来から用いられている各種のパラメーターの経年的変化をもとにして、幼児の走動作の発達過程を横断的にとらえようとするものである。

II. 研究方法

表1に示したような身体的特徴をもつ3歳から7歳の幼児200名（男子94名、女子106名）の25m全力疾走フォームを側方より16mmシネカメラ（Photosonics 1 PL）を用いて毎秒50コマで撮影した。フィルムスピードは、パルスジェネレーターからのパルスをフィルムに写し込むことによって校正した。得られたフィルムを分析し、全身および脚の重心位置などを算出した。また、接地時、身体重心の最下点、離地時、逆足の接地時での身体各部位の位置、角度などを求め、さらに、支持期前半、支持期後半、滞空期における身体重心の変位、速度、力積などを算出した。これらの変量を算出するため、3歳から7歳までの幼児の身体部分係数を数学的モデルによる方法²⁰⁾を用いて求めた。

III. 結 果

(1) 走速度、歩幅、歩数などの経年的変化

本研究で用いた被験者の走速度は、男子3歳の3.29m/sから7歳の5.14m/sへ、女子4歳の3.61m/sから7歳の4.74m/sへと加齢につれて増大した。また歩幅および歩幅の身長比は、男子では3歳の77.4cm, 79.4%から7歳の114.8cm, 94.3%へ、女子では4歳の90.3cm, 85.8%から7歳の122.2cm, 102.6%へとそれぞれ経年的増大がみら

Table 1. Physical characteristics and running performance of subjects

		Boys					Girls			
		3yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.
Number of subjects		5	13	29	24	23	10	34	33	29
Body height (cm)	M	97.50	102.71	108.98	114.57	121.76	105.24	109.12	114.26	129.13
	SD	(3.78)	(4.75)	(5.16)	(4.88)	(4.42)	(5.26)	(4.28)	(5.39)	(4.67)
Body weight (kg)	M	16.88	16.79	18.68	20.29	24.11	17.40	19.34	21.37	22.31
	SD	(1.18)	(1.82)	(2.94)	(2.85)	(4.29)	(1.99)	(2.59)	(3.59)	(4.24)
Running velocity (m/s)	M	3.29	3.84	4.21	4.84	5.14	3.61	4.20	4.63	4.74
	SD	(0.31)	(0.35)	(0.42)	(0.25)	(0.34)	(0.35)	(0.39)	(0.38)	(0.23)
Step length (cm)	M	77.40	88.70	93.40	109.80	114.80	90.30	103.20	112.30	122.20
	SD	(8.10)	(8.80)	(13.20)	(9.10)	(8.70)	(6.70)	(10.00)	(9.70)	(8.30)
Step length/Height (%)	M	79.40	86.37	85.84	95.84	94.28	85.80	94.58	98.28	102.58
	SD	(7.20)	(6.30)	(11.10)	(6.40)	(6.70)	(4.60)	(7.00)	(8.60)	(6.20)
Step frequency (steps/s)	M	4.26	4.36	4.56	4.44	4.49	4.01	4.08	4.14	3.89
	SD	(0.16)	(0.49)	(0.41)	(0.37)	(0.30)	(0.40)	(0.30)	(0.33)	(0.21)
Flight time/Support time	M	0.31	0.49	0.48	0.54	0.65	0.52	0.61	0.62	0.69
	SD	(0.08)	(0.07)	(0.10)	(0.07)	(0.09)	(0.09)	(0.09)	(0.08)	(0.09)

れた。

しかし、1秒間あたりの歩数は、男子が4.26~4.54、女子が3.89~4.14の範囲にあり、男女とも経年的変化はみられなかった。跳躍比（滞空時間/支持時間）は、男子3歳の0.31から7歳の0.65へ、女子4歳の0.52から7歳の0.69へと加齢につれて増大していた。走速度と歩数は各年齢とも男子の方が女子より大きく、一方、歩幅と跳躍比は各年齢とも女子の方が大きい値を示した。さらに、女子では支持時間、滞空時間も同年齢の男子に比べて長くなっていた。

(2) 身体重心の軌跡

被験者の疾走フォームを年齢別、男女別に平均化し、スティックピクチャーで示したのが図1である。また、疾走中の身体重心の軌跡は図2のようであった。さらに、身体重心の軌跡に関する各種の変量を年齢別に分析した結果は表2のとおりであった。図2の中のON, MIN, OFF, ONは、左から順に接地時、身体重心の最下点、離地時、逆足の接地時を示しており、また、局面I, II, IIIはそれぞれ支持期前半、支持期後半、滞空期を示している。

身体重心は、各年齢の男女とも局面Iでは前下方へ、局面IIでは前上方へ移動し、離地後は放物線を描いて移動し、逆足の接地に至る軌跡となっ

た。

離地時の身体重心高は、各年齢とも接地時より高く、身体重心の最高点は4歳から7歳の男女とも離地後わずかの時点で出現したが、3歳男子では離地時の身体重心高が最も高い値であった。身体重心高は身長が増大につれて経年的に増大したが、これらの身長に対する比（比重心高）は、接地時で0.53~0.54、最下点で0.52~0.53、離地時で0.55~0.56であり、明確な経年的変化や性差はみられなかった。

1歩中の身体重心の水平変位は、男子3歳の77.4cmから7歳の114.8cmへ、女子4歳の90.3cmから7歳の122.2cmへと経年的に増大し、水平変位の身長比も加齢につれて、わずかな増加を示した。しかし、各局面の水平変位の身長に対する比においては、局面IIIにおいてのみ経年的増大がみられた。また、局面IIIの水平変位は5, 6, 7歳で女子の方が男子より大きく、その身長比についても同様であった。

局面I, IIにおける身体重心の鉛直変位に経年的変化はみられなかった。同様に最下点から最高点までの鉛直変位においても男女とも明確な経年的変化はみられず、男子は3.3~4.0cm、女子は4.1~5.0cmの範囲にあり、男子より女子の方が疾走中の身体重心の上下動がやや大きく、身長比においても同様であった。

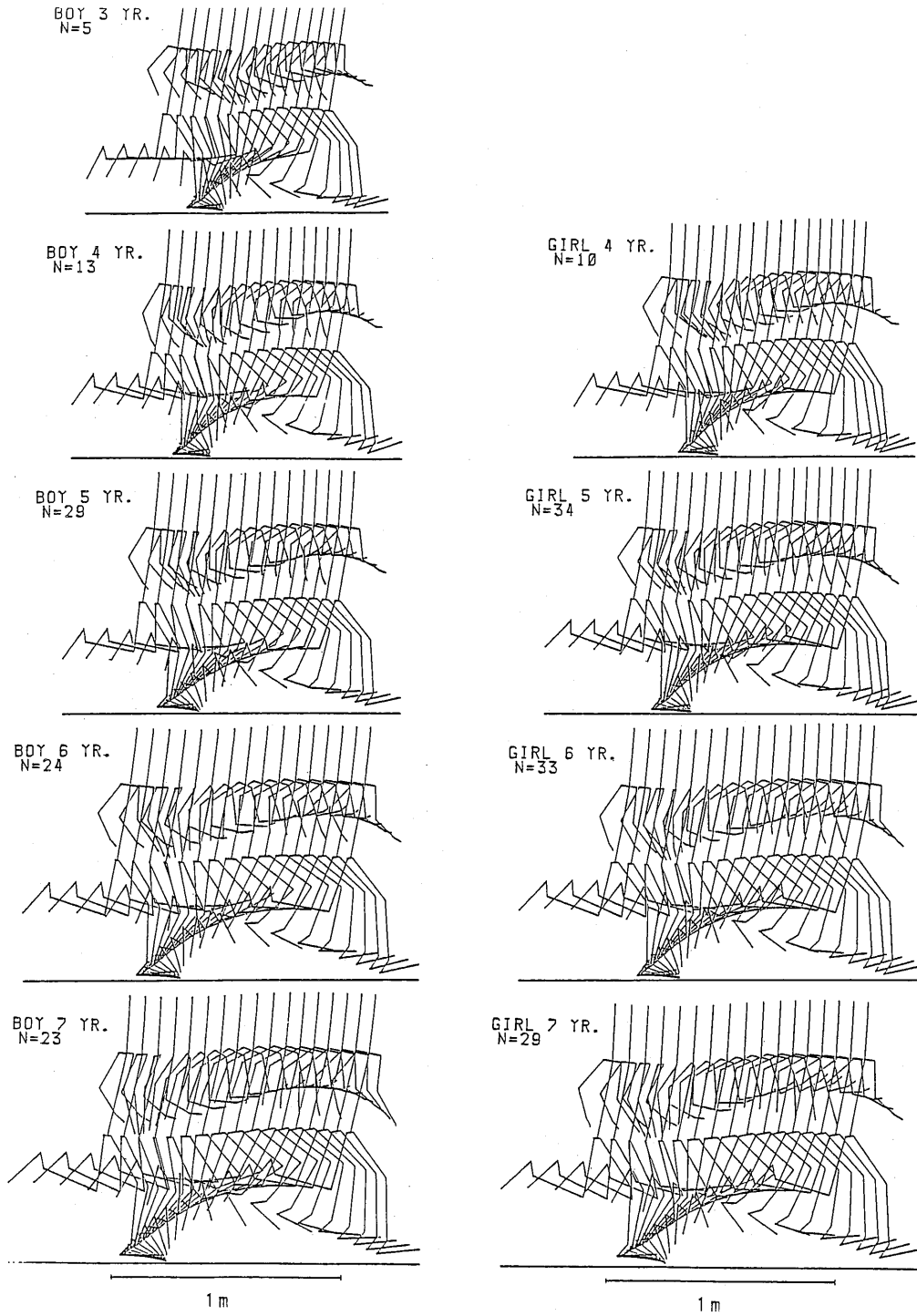


Fig. 1 Averaged running form in young children.

Table 2. Kinematic variables of the path of the CG during one step

Variable	Boys					Girls			
	3yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.
Height of CG/Body height									
On	0.53	0.54	0.53	0.54	0.53	0.54	0.53	0.53	0.53
Min	0.52	0.53	0.52	0.53	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52
Off	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.56
Max	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.56
Horizontal displacement of CG(cm)									
One step	77.4	88.7	93.4	109.8	114.8	90.3	103.2	122.3	122.2
Phase I	14.9	17.3	18.8	22.3	17.9	17.2	17.3	19.2	21.4
Phase II	40.9	41.2	44.1	48.4	51.1	42.0	46.1	49.3	50.2
Phase III	21.6	30.2	31.2	39.1	45.8	31.1	39.8	43.8	50.6
Horizontal displacement of CG(one step) Body height									
	0.79	0.86	0.86	0.96	0.94	0.86	0.94	0.98	1.02
Vertical displacement of CG(cm)									
Min—on	-1.3	-1.4	-1.3	-1.3	-1.0	-1.5	-1.3	-1.3	-1.5
Off—min	3.3	3.3	3.3	3.2	3.8	4.0	4.2	4.1	4.5
Max—off	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.5
Max—min	3.3	3.4	3.4	3.3	4.0	4.1	4.5	4.4	5.0
Vertical displacement of CG(max-min) Body height									
	0.033	0.033	0.031	0.029	0.033	0.039	0.041	0.038	0.042
Average ascending angle from the lowest to the highest point of CG(deg.)									
	5.1	4.6	4.3	3.7	3.9	5.5	4.9	4.4	4.7

Note. On=the foot contact; Min=the lowest point; Off=the foot takeoff; Max=the highest point.

Phase I =the first half of the support phase; Phase II =the second half of the support phase; Phase III =the nonsupport phase.

身体重心の最下点から最高点に至る平均上昇角を求めた結果、男子では3歳の5.1°から7歳の3.9°へ、女子では4歳の5.5°から7歳の4.7°へ経年的に減少し、各年齢とも女子は男子よりやや大きな上昇角を示した。

(3) 力積の経年的変化

図3は、支持期の身体重心の速度から求めた局面I、IIにおける単位質量あたりの力積の経年的変化を、男女別に示したものである。

水平方向の力積は局面I、IIともほぼ一定で経年的変化はみられなかった。一方、鉛直方向の力積は経年的増大の傾向を示し、特に局面IIの増大が著しく、局面IIの鉛直変位の力積では5歳以上の各年齢で女子が男子より大きな値を示した。

(4) 脚の重心および足先点の軌跡

疾走動作1周期(2歩)中の脚の重心および足先点の軌跡を、大転子を基点としてあらわしたの

が図4である。また、これらの軌跡の水平、鉛直変位とそれぞれの身長に対する比を年齢別に比較したのが表3である。

脚の重心の軌跡は、水平変位において男女とも経年的増大がみられ、その身長に対する比でも男子3歳の25.8%から7歳の27.1%へ、女子4歳の26.8%から7歳の29.0%へとそれぞれ増大していた。

一方、鉛直変位およびその身長に対する比においても男女とも経年的増大がみられた。そこで、変位の身長に対する比の加齢にともなう増加を比較してみると、鉛直変位の方が水平変位よりも経年的増大が著しいことが認められた。

足先点の軌跡における水平、鉛直変位は、ともに経年的に増大し、それらの身長に対する比においてもやはり水平変位より、鉛直変位の方が経年的増大が顕著であった。

図4からは、脚の重心の軌跡の回復期後半での前上方への動きが、また足先点の軌跡の回復期前

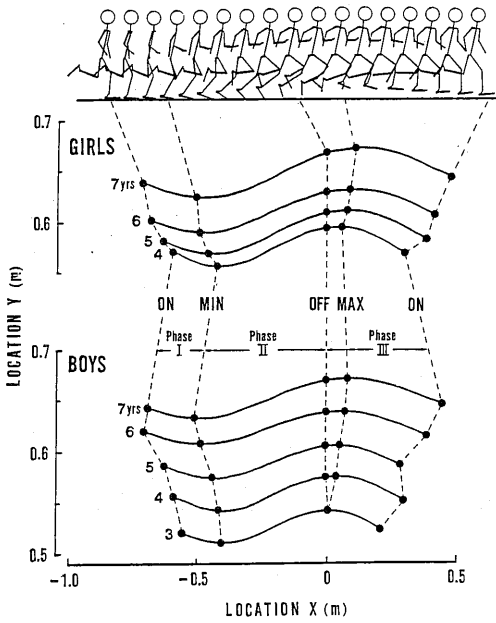


Fig. 2 Averaged path of the center of gravity during running (one step) for boys and girls. Black circles indicate the location of the CG at the foot contact (on), the lowest point (min), the foot takeoff (off), and the highest point (max). Phase I, the first half of the support phase; Phase II, the second half of the support phase; Phase III, the nonsupport phase.

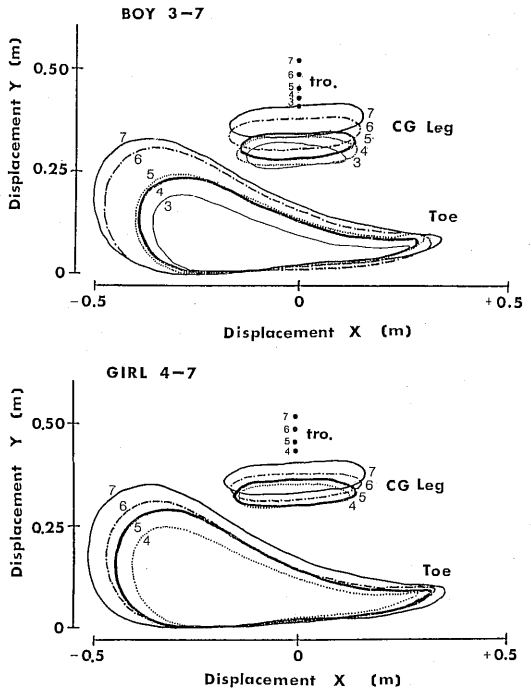


Fig. 4 Averaged path of the CG of the leg and the toe during one cycle of running for young children. The path was redrawn relative to the trochanter as a reference point.

半での後上方への動きが、それぞれ経年的に大きくなる傾向がとらえられる。

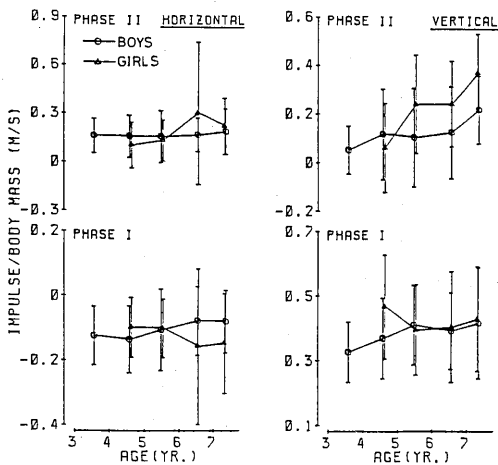


Fig. 3 Changes in horizontal and vertical impulses for boys and girls with aging.

(5) 接地時、身体重心の最下点、離地時における身体各部位間の角度

図5に示したような、接地時、身体重心の最下点、離地時における身体各部位間の角度を算出し、年齢別平均値を求めた結果は、表4のようであった。これらの角度の経年的変化をみると、まず接地時では、自由脚の膝関節角度が男女とも加齢につれて著しく減少し、支持脚の膝関節角度においても減少がみられた。また、支持脚の下腿と地面とのなす角度は加齢につれて増大する傾向がみられた。このことは、加齢につれて脚の接地様式が変容することを示している。

身体重心の最下点では、自由脚の膝関節角度に明確な経年的減少がみられた。また、支持脚の膝関節角度および支持脚の下腿と地面とのなす角度には加齢につれてやや減少する傾向がみられた。

Table 3. Kinematic variables of the path of the Leg CG and the Toe during one cycle of running

Variable		Boys					Girls			
		3yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.
Horizontal displacement of the Leg CG	(cm)	25.1	29.7	30.6	32.4	33.1	28.2	30.3	31.8	34.6
Horizontal displacement of the Leg CG Body height	(%)	25.8	28.9	28.2	28.3	27.1	26.8	27.8	27.8	29.0
Vertical displacement of the Leg CG	(cm)	6.4	7.6	7.9	8.9	9.3	6.4	7.6	7.7	8.9
Vertical displacement of the leg CG Body height	(%)	6.6	7.4	7.3	7.8	7.7	6.1	7.0	6.7	7.5
Horizontal displacement of the Toe	(cm)	65.4	70.7	75.3	81.0	84.6	73.1	78.1	82.1	88.7
Horizontal displacement of the Toe Body height	(%)	67.0	68.9	69.2	70.7	69.5	69.5	71.6	71.9	74.5
Vertical displacement of the Toe	(cm)	20.4	24.9	26.3	31.7	34.7	25.7	30.2	32.1	36.3
Vertical displacement of the Toe Body height	(%)	20.9	24.3	24.1	27.7	28.5	24.4	27.7	28.1	30.5

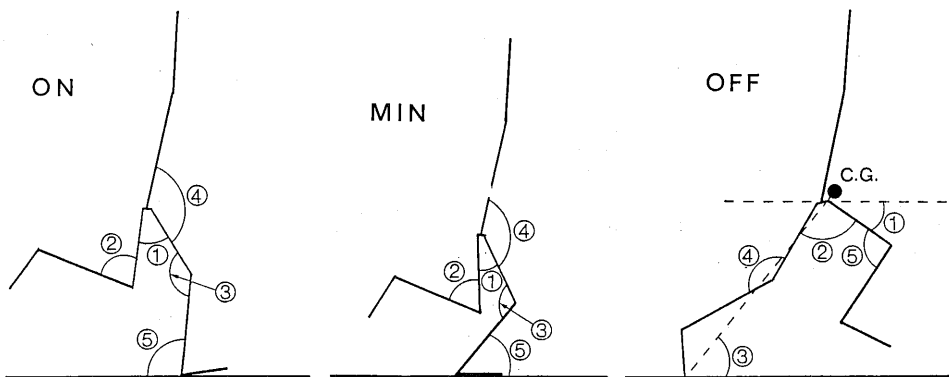


Fig. 5 Selected angles for the analysis of running motion at the foot contact (on), lowest point (min), and foot takeoff (off).

これらのことは、加齢につれて、自由脚を身体により近づけ、支持脚をより屈曲させて、局面IIにおける脚の動作を引き出しやすくするように変容することを示している。

離地時では、自由脚の大腿の前上方への引き上げ角度と自由脚の膝関節角度が経年的に減少し、両大腿のなす角度は増大することがみられた。また、支持脚の前傾角度（身体重心と接地足を結ぶ線が地面となす角度）が加齢につれて減少を示した。

IV. 考 察

本研究で用いた被験者の走速度は、3歳から7歳まで顕著に増大し、歩幅も同様に経年的増大がみられたのに対して、歩数には経年的変化は認められなかった。走速度は歩数と歩幅の積であることを考えると、加齢にともなう走速度の増大は、主に歩幅の経年的増大に起因していると判断される。

これらの結果は、幼児や児童を対象とした宮丸¹¹⁾、斉藤ら¹⁵⁾、辻野と後藤¹⁶⁾の報告と一致するものであり、また8歳から20歳の青少年を対象とした福永ら⁴⁾、松尾ら⁹⁾の報告でも同様であった。

Table 4. Results of angular analysis of running motion at the instant of the foot contact, the lowest point of the CG and the foot take-off.

			3yrs.	4yrs.	5yrs.	6yrs.	7yrs.	
	1	Angle between both thigh of the support leg and the free leg.	Boys	42.3	42.6	40.1	44.4	37.1
			Girls		42.5	43.4	48.4	44.2
	2	Knee flexion of the free leg.	Boys	101.1	86.6	85.2	82.7	75.1
			Girls		89.6	82.3	83.2	76.9
On	3	Knee flexion of the support leg.	Boys	151.2	148.1	146.7	145.1	144.9
			Girls		150.5	147.3	144.2	146.5
	4	Angle between the thigh of the support leg and the torso.	Boys	133.5	135.2	135.2	133.1	136.2
			Girls		137.5	135.2	130.4	134.5
	5	Angle between the shank of the support leg and the surface.	Boys	86.9	89.9	91.7	92.0	95.9
			Girls		88.9	91.0	91.5	91.2
	1	Angle between both thigh of the support leg and the free leg.	Boys	7.6	0.2	-1.1	2.0	6.3
			Girls		7.8	6.8	12.4	7.5
	2	Knee flexion of the free leg.	Boys	80.1	62.3	63.4	60.7	56.8
			Girls		66.7	62.7	59.3	53.3
Min	3	Knee flexion of the support leg.	Boys	142.7	140.2	139.9	137.4	138.2
			Girls		138.7	140.6	135.9	134.7
	4	Angle between the thigh of the support leg and the torso.	Boys	147.0	150.6	151.8	149.7	148.4
			Girls		147.9	148.8	143.7	147.1
	5	Angle between the shank of the support leg and the surface.	Boys	71.5	66.7	65.5	63.2	65.1
			Girls		68.8	68.3	66.2	64.2
	1	Angle of the leg lift.	Boys	46.5	38.5	38.3	35.7	36.9
			Girls		45.8	40.6	38.7	38.1
	2	Angle between both thigh of the support leg and the free leg.	Boys	69.0	78.9	78.5	82.9	80.1
			Girls		71.7	78.8	79.8	79.4
Off	3	Angle of forward lean of the support leg.	Boys	57.1	57.1	56.3	53.7	55.4
			Girls		58.9	56.3	55.3	57.1
	4	Knee extension of the support leg.	Boys	149.9	147.4	146.3	145.3	145.2
			Girls		151.4	151.1	147.9	147.4
	5	Knee flexion of the free leg.	Boys	131.1	114.6	113.9	103.8	96.6
			Girls		126.5	113.7	102.6	103.7

(value in degree)

Note. On: the foot contact, Min: the lowest point of the CG, Off: the foot take-off.

ディメンジョン論からいえば、歩幅は体肢の長さ
に正比例するとみなされるが、歩幅の身長に対
する比においても男女とも加齢にともなう確かな
増大がみられ、さらには跳躍比の経年的増大が認
められたことを考え合わせれば、幼児期の走動作

は、加齢につれて歩幅や跳躍比を大きくするよう
な動きへと変容することが示唆される。ここでは
幼児期の走動作の変容を身体重心や脚の重心の軌
跡から得られた各種の変量などとの関係から考察
する。

加齢にともなう歩幅の増大は、疾走（1歩）中の身体重心の水平変位の増大を意味する。疾走（1歩）中の身体重心の水平変位は、経年的に増大したが、その増大は主として支持期後半と滞空期の水平変位の増大に起因していた。支持期前半の水平変位は、加齢による明確な変化はみられなかった。このことは局面Ⅰでの支持脚の動作の変容を示唆しており、接地時において支持脚の下腿が地面となす角度や膝の屈曲が経年的に増大することからも推察される。

水平変位の身長に対する比においては、滞空期においてのみ経年的増大がみられた。滞空期の水平変位は、主として離地時の身体重心の水平および鉛直速度に依存するものであり、さらにこれらの速度は、支持期に生ずる力積と関連するといえる。図3にみられたような鉛直方向の単位質量あたりの力積の経年的増大にともなう鉛直速度、および走速度の増大が、加齢にともなう滞空期の水平変位の増大をもたらしたと考えられる。さらに局面Ⅱの力積の経年的増大と局面Ⅱの支持時間の経年的減少から判断すれば、加齢につれて支持期後半での脚の伸展パワーを大きくし、短時間により大きなキック力を発揮して、前方への加速と滞空期の水平変位を増大させるような走動作の変容が示唆される。このことは、加齢につれて支持期後半での脚の伸展を増大させるのに有効な動き、すなわち身体重心の最下点での支持脚の膝の屈曲や足関節の屈曲が経年的に増大することからもうかがわれる。

接地時、身体重心の最下点、離地時における身体重心高は、体肢長の増大につれて経年的に高くなっていったが、比重心高には明確な経年的変化はみられなかった。このことは、疾走中の身体重心高の経年的増大の要因に身長伸びがあることを示している。

疾走（1歩）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%で明確な経年的変化はみられなかった。Fortney³⁾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3.6cm、4歳児の平均が5.7cm、6歳児の平均が6.2cmであったと報告している。これらは、本研究の結果よりやや大きな値であり、各年齢間に統計的に有意な差は認められなかったと報告しているも

の、経年的にやや大きくなる傾向がみられる。

福永ら⁴⁾は、地面反力から8歳～20歳の青少年の疾走における鉛直変位を算出し、その身長に対する比（%）が8歳児の男子3.16%、女子3.65%であったと報告しているが、この値は、本研究の結果とほぼ同じであった。

また、Murase, et al.¹³⁾は、一般成人と短距離走者の疾走中の身体重心の鉛直変位を算出し、一般成人では4.0～6.9cm、走者では5.6～8.1cmであったと報告している。これらと比較すれば、幼児の鉛直変位はかなり小さい値であった。

身体重心の最下点から最高点に至る平均上昇角は、男女とも経年的に減少した。これは、走速度が離地時の鉛直速度に比べて著しい経年的増大を示したことによるとみられる。

Wickstrom¹⁸⁾は、初期のBouncing motionから加齢につれてMinimal bounceへと変容することを、幼児期の走動作の発達にみられる特徴の1つであるとしている。前述したように、疾走中の鉛直変位そのものに明確な経年的変化はみられないが、水平変位の著しい経年的増大との関係からいえば、走動作は加齢につれて相対的にbouncingの小さいパターンへ変容すると考えてよいであろう。本研究で明らかになった平均上昇角の経年的減少は、Wickstromの指摘を支持するものであった。

疾走中の身体重心の軌跡にみられた経年的変化は、疾走中の脚の動作の変容と関連するとみられる。そこで、加齢にともなう脚の動作の変容を知るために、走動作中の脚の重心を求め、大転子を基点としてその軌跡をとらえると、水平・鉛直変位およびそれらの身長に対する比は、ともに経年的増大がみられた。（図4、表3）このことは、加齢につれて脚の動作における前後方向への振動の動きと屈曲伸展の動きがともに大きくなることを示している。

幼児の脚の重心の鉛直変位は、6.4～9.3cmの範囲であり、Murase, et al.¹³⁾が移動座標でとらえた成人の鉛直変位が16.1～20.9cmであったのに比べると、はるかに小さい値であった。

小野¹⁴⁾は、ヒトの走行の速度は着地中の足先の後方への速度であり、ランニングの脚の運動は、脚を前後に往復させるのではなく、脚を回して走るのがよいと指摘している。同様に小林⁹⁾も、足先が速く動くためには、脚の重心は全体的に丸みを

もった回転運動をするのが望ましいと述べている。こうした観点からみると、本研究の幼児にみられた脚の重心の鉛直変位の経年的増大は、水平変位の増大よりも著しいものであり、このことは加齢につれて疾走中の脚の動作が振動型に近いものから効率のよい丸みをもった回転振動型へと変容することを示唆している。

足先点の軌跡においても、脚の重心の軌跡と同様に鉛直変位の経年的増大の方が水平変位より顕著であった。

こうした脚の重心や足先点の軌跡の経年的変化から判断すれば、幼児の疾走中の脚の動作に次のような経年的変容が明確になる、

すなわち、回復期前半では、自由脚の各関節の屈曲を大きくし、回復脚の慣性モーメントを小さくして、前方への振り出しを容易にする。また、回復期後半では、自由脚を前上方へ引き上げて有利な着地のための先取り動作を引き出し、脚を伸展させながら後方へ振りもどして接地での足先の後方への速度を大きくする、などである。

これらの変容は、表4に示されたような、接地時、身体重心の最下点、離地時における自由脚の膝関節角度が加齢につれて減少すること、および離地時における自由脚の大腿の引き上げが加齢につれて高くなることから確かめられる。

図6は、3歳と7歳の男子および4歳と7歳の女子の接地時、身体重心の最下点、離地時での走動作を平均化し、支持脚の足先の位置を中心に重ね合わせたものであり、同時に各年齢の平均化した身体重心の軌跡を比較している。

図6は、これまで述べてきたような走動作の経年的変容を端的にあらわしている。加齢につれて、上体の前傾、支持脚の下腿の前傾、自由脚の膝の屈曲、自由脚の引きつけ、さらには離地時での自由脚の前方への引き上げと支持脚による身体の前方向への押し出しなどが、それぞれ大きくなること示されている。そして、走動作全体は相対的に上下動を小さくし、水平方向の速度を大きくすることができる動作様式へと変容すると考えられる。

図7は、各年齢の男子と女子の疾走中の身体重心の軌跡を、それぞれの年齢について接地時の位置を重ね合わせて比較したものである。この図に示されるように、各年齢とも女子の身体重心の鉛直変位は男子より大きく、水平変位、とりわけ滞

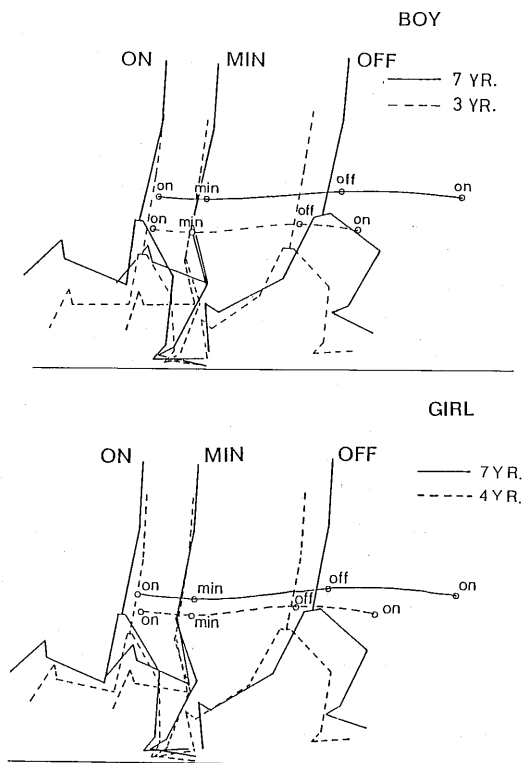


Fig. 6 Comparison of running form and the path of the CG between 3- and 7-year-old for boys and between 4- and 7-year-old for girls.

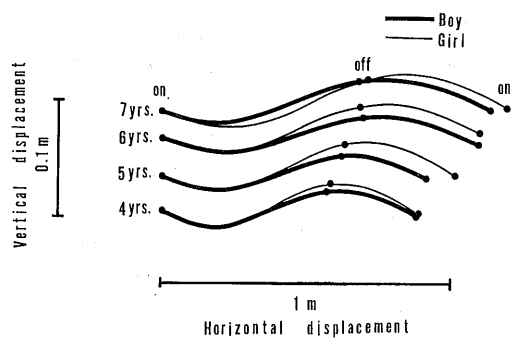


Fig. 7 Comparison of the path of the CG during running between boys and girls. The path for girls was duplicated on that of the boys relative to the CG location at the instant of the foot contact.

空期での水平変位も女子のほうが男子より大きいものであった。このことは、幼児の走動作に性差があることを示唆している。各年齢とも女子の歩数は男子よりやや小さく、歩幅は男子よりやや大きかった。支持時間、滞空時間、跳躍比および身体重心の最下点から最高点までの平均上昇角はともに女子の方が男子より大きな値であった。これらの性差は、支持期後半の鉛直方向の力積が女子の方が大きく、女子では離地時の鉛直速度が男子より大きいことによって生じたとみられる。

福永⁴⁾は8歳から20歳の男女の走能力特性について報告し、女子は男子と比較していずれの年齢においても上に高くとびあがるような走り方であり、速度がおそくかつエネルギーのロスが多い走り方をしていると考えられると、述べている。

本研究で用いた幼児においても同様の性差が認められ、4歳からすでに女子は男子より身体重心の上下動がやや大きく、滞空期の長い走動作をしていることがとらえられた。

要 約

疾走動作中の身体重心、脚の重心の軌跡に着目して、3歳から7歳の幼児の走動作の経年的変容をとらえた結果は、以下のように要約される。

1) 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、経年的変化はみられず、幼児の疾走中の身体重心の上下動は男子では3~4 cm、女子では4~5 cmの範囲であった。

2) 疾走中の身体重心高は、経年的に増加したが、比重心高は各年齢ともほぼ同様であり、その値は接地時で0.53~0.54、身体重心の最下点で0.52~0.53、離地時で0.55~0.56であった。

3) 疾走中の身体重心の水平変位は、各局面とも経年的に増加したが、それらの身長に対する比では、滞空期において経年的増大が著しかった。身体重心の最下点から最高点に至る平均上昇角は、経年的に減少した。これらの結果は、走速度が離地時の鉛直速度に比べて経年的増大が著しいことによると考えられる。したがって、経年的にbouncing motionの小さい走動作へと変容するとみられる。

4) 支時期の単位質量あたりの力積は、水平方向および支持期前半の鉛直方向では経年的変化はみられなかったが、支持期後半の鉛直方向において経年的増大がみられた。支持期後半の時間が経

年的に減少することから、支持期後半では加齢につれて短時間に大きなキック力が発揮されるようになると思われる。

5) 大転子を基点とする座標でとらえた疾走中の脚の重心と足先点の軌跡は、水平・鉛直変位ともに経年的増大がみられた。しかし、それぞれの身長に対する比においては水平変位より鉛直変位の方が経年的増大が顕著であった。また、走動作中の自由脚の屈曲、自由脚の引きつけ、離地時での自由脚の前方への引き上げなどが加齢につれて増大した。これらの結果は、疾走中の脚の動作様式が加齢につれてモーションの大きい回転振動型へ変容することを示している。

6) 各年齢において女子は男子より歩数が小さく、跳躍比、身体重心の水平変位と鉛直変位、身体重心の平均上昇角、支持期後半の鉛直方向の力積などがいずれも大きい値であった。これらは幼児の走動作様式に性差があることを示している。

本研究の一部は、第10回国際バイオメカニクス学会(1985, Umea, Sweden)と第7回日本バイオメカニクス学会大会(1984, 名古屋)において発表した。

文 献

- 1) Amano, Y., Mizutani, S. and Hoshikawa, T.: Longitudinal study of running of 58 children over a five-year period, Biomechanics VIII-B, Matsui, H. and Kobayashi, K. (Eds.), 663-668, Human Kinetics Publishers, 1983.
- 2) Espenschade, A. S. and Eckert, H. M.: Motor development, 110, Charles E. Merrill, 1967.
- 3) Fortney, V. L.: The Kinematics and Kinetics of the Running Pattern of Two-, Four-, and Six-year-old Children, Res. Quart, 54-2: 126-135, 1983.
- 4) 福永哲夫, 松尾彰文, 浅見俊雄: 地面反力からみた発育期男女の走能力特性, 走・跳・投・打・泳能力における“よい動き”とは, 星川保, 豊島進太郎(編), 46-49, 名古屋大学出版会, 1984.
- 5) Gallahue, D. L.: Developmental movement experiences for children, 79, John Wiley & Sons Inc., 1982.
- 6) Gesell, A., 山下俊郎(訳): 乳幼児の心理学, 147-150, 520-521, 家政教育社, 1970.
- 7) 後藤幸弘, 岡本勉, 辻野昭, 熊本水頼: 幼少児における走動作の習熟過程の筋電図的研究, 身体運

- 動の科学III, 日本バイオメカニクス学会(編), 237-248, 杏林書院, 1979.
- 8) 小林一敏: 運動技術の指導, 体育科教育法, 前川峯雄, 江橋慎四郎(編), 205-206, 杏林書院, 1975.
 - 9) 松尾彰文, 福永哲夫, 浅見俊雄, 金久博昭: 発育期青少年の疾走速度, 地面反力と脚筋力の関係について, 東京大学教養学部体育研究室体育学紀要, 19: 21-30, 1985.
 - 10) Minel, K., 金子明友(訳): マイネル・スポーツ運動学, 307, 大修館書店, 1981.
 - 11) 宮丸凱史: 幼児の基礎的運動技能におけるMotor Patternの発達, 1. 幼児のRunning Patternの発達過程, 東京女子体育大学紀要, 10: 14-25, 1975.
 - 12) 宮丸凱史: 走る動作の発達, 体育の科学, 28-5: 306-313, 1978.
 - 13) Murase, Y., Hoshikawa, T., Yasuda, N., Ikegami, Y. and Matsui, H.: Analysis of the Changes in Progressive speed during 100 meter dash, Biomechanics V-B, Komi, P. V. (Eds.), 200-207, University Park Press, 1976.
 - 14) 小野勝次, 陸上競技の力学, 60-64, 同文書院, 1963.
 - 15) 斉藤昌久, 宮丸凱史, 湯浅景元, 三宅一郎, 浅川正一: 2-11歳児の走運動における脚の動作様式, 体育の科学, 31-5: 357-361, 1981.
 - 16) 辻野昭, 後藤幸弘: 幼児・児童期における走動作patternの加齢的変遷, 大阪教育大学紀要, 24-3: 253-262, 1975.
 - 17) 津守真, 磯部景子: 乳幼児精神発達診断法0~3歳児まで, 46-47, 大日本図書, 1961.
 - 18) Wickstrom, R. L.: Fundamental motor patterns, (2nd edi.), 37-47, Lea and Febiger, 1970.
 - 19) Wickstrom, R. L.: Developmental Kinesiology: Maturation of Basic Motor Patterns, Exercise and Sport Sciences Reviews, vol. 3, Wilmore, J. H. and Keogh, J. F. (Eds.), 163-192, Academic Press, 1975.
 - 20) 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.