

幼児期における疾走スピードの増加と土踏まずの形成には関連がない

中野裕史¹⁾ 大石和典²⁾ 吉原由希子²⁾
水町澄子²⁾ 幸坂佳代子²⁾

There is no relation between the non-contact area of footprints and the speed of sprint running in early childhood

Nakano H Oishi K Yoshihara Y
Mizumachi S Kozaka K
(2004年11月24日受理)

目 的

ヒトは幼児期に直立二足歩行を獲得することによって、足の構造に著しい適応を生じる。その特徴の一つとして足のアーチ構造の形成が挙げられる。このアーチ構造の定義は研究者により様々ではあるが、一般的には足底部内側の非接地部分、すなわち「土踏まず」として認識されており、衝撃吸収、足部の保護、放熱、歩行効率を高めるなどの役割があると考えられている(野田1998)。しかし、土踏まずの形成とアーチ構造の形成は必ずしも一致していない。例えば、アーチ構造は胎児期から存在するとされているが、足底部の脂肪が多く土踏まずとしての形成はみられない(近藤1958, 中野1973)。また、スポーツ選手の中には足底部の筋肉が発達しているため、土踏まずが小さい者も認められる(浅見1970, 野田1998)。このように、土踏まずは必ずしもアーチ構造を反映するとは限らないが、近年、子どもの土踏まずの形成が以前よりも遅延していることが指摘されており(野田1998)、足底形態の発育発達に変化が生じていると考えられる。それと同時に子どもの体力・運動能力の低下も指摘されており、土踏まずと体力・運動能力の関連についての議論もなされている。例えば野田(1998)は、小学生の50m走において土踏まず形成者が非形成者よりも1秒近く速いことから、土踏まずの形成と運動能力には関係があ

ると推察している。また、このような土踏まず形成率の低下と運動能力低下の予防策として、はだし運動を実施している教育機関もあり、はだし運動によって土踏まず形成の促進と運動機能の向上が認められている(永田1986)。しかし、土踏まずの形成と体力・運動能力との因果関係についての説明は、いまだ十分になされているとはいえない。そこで本研究は、土踏まずが形成される時期である幼児期において、土踏まずの変化と運動能力の変化を縦断的に比較し、両者の関係を調べることによって幼児教育上の基礎資料を得ることを目的とした。なお、運動能力の測定項目については、小学生において土踏まず形成者と非形成者に差があることが認められている短距離走(幼児においては25m走)とし、疾走スピードとして算出した。

方 法

福岡市内の幼稚園園児60名(4-6歳の男児31名、女児29名)を対象にして、年中時と年長時にそれぞれ疾走スピードと足底部の計測を行い、1年間の変化を縦断的に観察した。なお、年中時と年長時の測定条件ができるだけ一定になるように、測定は5月上旬の午前中に室内にて実施した。

疾走スピードは25m走の記録から算出した。その際、最大努力を引き出すために2名での競走形式と

した。さらに、ゴール手前での心理的な減速を回避するため、ゴール地点を30mとし25m地点通過時の記録を採用した。

足底部の計測はフットプリント（足跡）画像を用いて行った。フットプリントはピドスコープとデジタルビデオカメラを用いて撮影した。撮影時はピドスコープ上に裸足で立たせ、両足の間隔を約10cmとり、前方を注視させて直立姿勢を保持させた。撮影したフットプリント画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像解析ソフト（NIH Image 1.62）を用いて解析した。

土踏まず形成の判定にはHライン（平沢ライン）を用いた（根本1966, 小山1982, 野田1980, 平沢1960）（図1）。Hラインは、フットプリントの内側線と外側線を結んだ交点から第2指の midpoint とを結んだもので、この線が土踏まずを通過した場合に土踏まずが形成されていると判定される。さらに本研究においては、根本の方法に従い、両足ともにこの線が土踏まずを通過しない場合をA型、片足におい

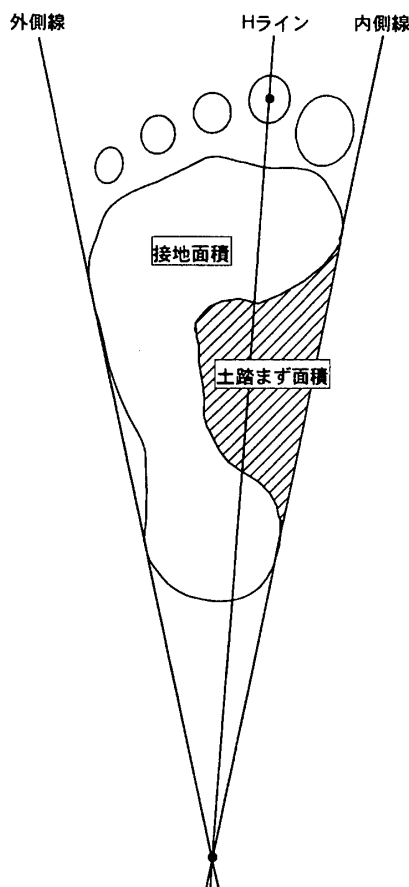


図1 フットプリント画像による足底部の解析方法。Hラインが土踏まず（斜線部）を通過した場合に土踏まずが形成されていると判定した。また、土踏まず比を「土踏まず面積÷（接地面積+土踏まず面積）×100」の式により算出した。

てのみこの線が土踏まずを通過した場合をB型（左足のみこの線が土踏まずを通過した場合をBL型、右足のみこの線が土踏まずを通過した場合をBR型）とし、土踏まずが形成されていないと判定した。一方、両足ともにこの線が土踏まずを通過した場合にはC型とし、土踏まずが形成されていると判定した。また、指部を除外した足底部の接地面積と土踏まず面積を計測し、次式により足底部に占める土踏まずの割合（土踏まず比）を算出した（小山1982）。

土踏まず比（%）＝

$$\text{土踏まず面積} \div (\text{接地面積} + \text{土踏まず面積}) \times 100$$

統計量は平均値±標準偏差で示した。各測定項目における年中時と年長時の比較および足底部の左右の比較は対応のあるt検定を用い、男児と女児の比較および土踏まず形成者と非形成者における疾走スピードの比較には対応のないt検定を用いた。また、土踏まず比と疾走スピードの関係を調べるために回帰分析を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

結果と考察

身長、体重、疾走スピードの変化

表1に身長、体重、疾走スピードならびに年中から年長への変化率を示した。身長、体重、疾走スピードは男児、女児ともに有意に増加した。また、年中時、年長時ともに身長、体重、疾走スピードに性差は認められず、変化率においても男女の相違は認められなかった。

土踏まず形成率の変化

今回我々は、根本（1966）の方法に従い、Hラインを基準として土踏まずの形成をA型、B型、C型に大別した（表2）。その結果、両足とも土踏まずが形成されているC型の割合は、年中男児で32%、年中女児で48%であり、土踏まずの形成率は男児よりも女児が高かった。同じく、年長においても女児の土踏まずの形成率（65%）が男児（32%）よりも高かった。さらに興味深いことに、男児においては土踏まず形成者の割合が年中時と年長時で変化せず、一方、女児においては土踏まず形成者の割合が1年間で17%増加していた。さらにより詳しく土踏まずの形成変化を観察すると、表3に示したように変化しない者、形成方向へ変化した者、逆に非形成方向へ変化した者の三つのタイプが認められ、形成方向へ変化した者は男児（10%）より女児（24%）で多

表 1. 被験者の身長, 体重, 疾走スピード

		男 児	女 児	男女平均
身長 (cm)	年 中	103.5±3.3	103.5±4.7	103.5±4.0
	年 長	110.2±3.3 *	110.1±5.0 *	110.2±4.2 *
	変化率 (%)	6.4±0.8	6.4±0.7	6.4±0.7
体 重 (kg)	年 中	16.4±1.5	16.9±3.1	16.7±2.4
	年 長	18.4±1.8 *	19.2±3.6 *	18.8±2.9 *
	変化率 (%)	11.9±3.9	13.5±2.6	12.6±3.4
疾走スピード (m/秒)	年 中	3.42±0.34	3.24±0.39	3.33±0.37
	年 長	3.90±0.38 *	3.76±0.38 *	3.83±0.38 *
	変化率 (%)	14.3±9.2	16.6±9.4	15.4±9.2

平均値±標準偏差. * p < 0.0001 vs 年中.

表 2. 土踏まず形成型の分類と形成率

	男 児 人 数				女 児 人 数				男女合計人数			
	土踏まず非形成			土踏まず形成	土踏まず非形成			土踏まず形成	土踏まず非形成			土踏まず形成
	A 型	B 型		C 型	A 型	B 型		C 型	A 型	B 型		C 型
		BL 型	BR 型			BL 型	BR 型			BL 型	BR 型	
年中	15 (48%)	3 (10%)	3 (10%)	10 (32%)	10 (35%)	3 (10%)	2 (7%)	14 (48%)	25 (42%)	6 (10%)	5 (8%)	24 (40%)
年長	15 (48%)	4 (13%)	2 (7%)	10 (32%)	6 (21%)	2 (7%)	2 (7%)	19 (65%)	21 (35%)	6 (10%)	4 (7%)	29 (48%)

A 型: 両足とも土踏まずが形成されていない. BL 型: 左足のみ土踏まずが形成されている.
BR 型: 右足のみ土踏まずが形成されている. C 型: 両足とも土踏まずが形成されている. カッコ内の数値は割合.

表 3. 土踏まず形成型の発育変化

		男児人数	女児人数	男女合計人数
変 化 無 し	A 型 → A 型	14	6	20
	B 型 → B 型	4	2	6
	C 型 → C 型	7	13	20
	合 計	25 (80%)	27 (73%)	46 (76%)
形 成 方 向 へ 変 化	A 型 → B 型	0	1	1
	A 型 → C 型	1	3	4
	B 型 → C 型	2	3	5
	合 計	3 (10%)	7 (24%)	10 (17%)
非 形 成 方 向 へ 変 化	B 型 → A 型	0	0	0
	C 型 → B 型	2	1	3
	C 型 → A 型	1	0	1
	合 計	3 (10%)	1 (3%)	4 (7%)

カッコ内の数値は割合.

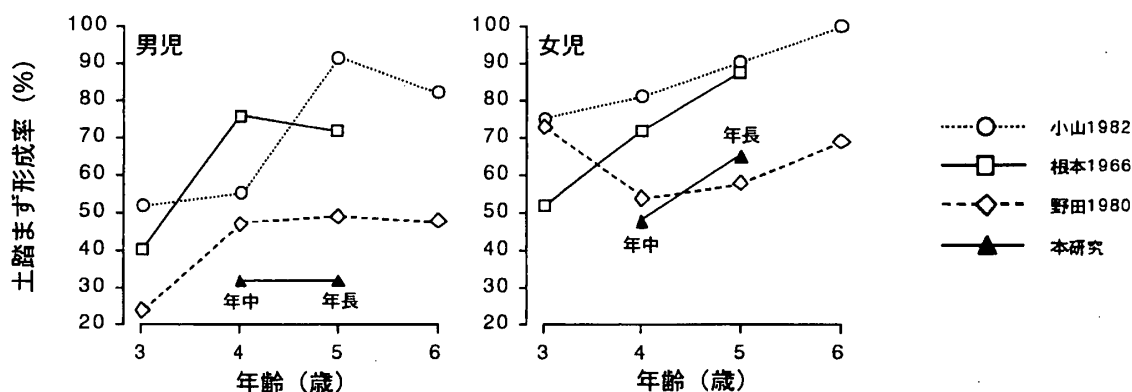


図 2 幼児における土踏まず形成率の比較。この図において年中児を4歳, 年長児を5歳とした。小山(1982)のデータは左足のものである。

かった。これらの結果は、女兒の土踏まずの形成が男児よりも早期からなされていることを示唆していると思われる。図2に先行研究(小山1982, 根本1966, 野田1980)と本研究における幼児の土踏まず形成率の発育変化を示したが、先行研究においても女兒の土踏まずの形成が男児よりも早期からなされていることが示されている。すなわち、骨格系の発育発達が男児よりも女兒で進行しているものと考えられるが、このような性差が生じる理由については、本研究では明らかにできず、先行研究においても明らかにされていない。また、表3において興味深いことは非形成方向へ変化した者がいるということであり、先行研究と同様、幼児期の土踏まずの形成の不安定性を示唆している。

さらに、図2からも明らかなように、特に男児において本研究の被験者の土踏まず形成率が先行研究の被験者よりも著しく低いことが認められた。一方、女兒においては約20年前に野田(1980)が報告した値とほぼ同じであった。この結果の解釈には二つの可能性が考えられる。すなわち、本研究における男

児の土踏まず形成率が特徴的に低いという可能性と全国的な傾向として土踏まず形成率が男児のみ低下してきているという可能性である。この両者の可能性についての検討が今後必要であると思われる。

土踏まず比の変化

表4は被験者の足底部の接地面積、土踏まず面積、土踏まず比ならびに年中から年長への変化率を示している。まず、接地面積は発育により有意に増加したが、その増加率に性差は認められなかった。しかし男児においてのみ右足の接地面積の増加率が左足の増加率より有意に大きかった。また、年中時の右足を除き、女兒が男児よりも接地面積が有意に小さかった。

次に土踏まず面積は発育により有意に増加したものの、その増加率には性差も左右差も認められなかった。しかし、年長時は男女とも左足よりも右足の土踏まず面積が小さい傾向にあり、男女平均では有意に小さかった。

接地面積と土踏まず面積より算出した土踏まず比

表4. 足底部の接地面積, 土踏まず面積, 土踏まず比

		男 児	女 児	男女平均
左足底部接地面積 (cm ²)	年 中	54.9±7.0	50.8±6.5 †	52.9±7.0
	年 長	61.6±7.5 * * *	57.7±6.9 * * * †	59.7±7.4 * * *
	変化率 (%)	12.7±9.9	14.3±9.1	13.5±9.5
右足底部接地面積 (cm ²)	年 中	53.6±6.4	51.1±5.8	52.4±6.2
	年 長	63.5±7.5 * * *	58.7±7.2 * * * †	61.2±7.7 * * * †
	変化率 (%)	19.1±12.8 † † †	15.2±10.5	17.2±11.8 †
左 右 平 均 (cm ²)	年 中	54.2±6.5	50.9±5.7 †	52.6±6.3
	年 長	62.5±6.9 * * *	58.2±6.5 * * * †	60.4±7.0 * * *
	変化率 (%)	15.9±9.5	14.8±8.5	15.4±9.0
左足底部土踏まず面積 (cm ²)	年 中	9.4±4.6	10.8±5.1	10.1±4.9
	年 長	12.4±5.7 * * *	14.2±5.5 * * *	13.3±5.6 * * *
	変化率 (%)	40.4±46.0	46.5±60.5	43.4±53.1
右足底部土踏まず面積 (cm ²)	年 中	9.1±4.5	10.6±5.7	9.8±5.1
	年 長	11.4±5.0 * * *	13.5±5.2 * * *	12.4±5.1 * * * †
	変化率 (%)	34.2±43.7	52.2±74.3	42.9±60.6
左 右 平 均 (cm ²)	年 中	9.2±4.4	10.7±5.2	9.9±4.8
	年 長	11.9±5.2 * * *	13.8±5.1 * * *	12.8±5.2 * * *
	変化率 (%)	37.3±37.2	49.4±61.8	43.1±50.5
左足底部土踏まず比 (%)	年 中	14.6±7.0	17.4±8.0	15.9±7.6
	年 長	16.7±7.7 * *	19.5±6.7 *	18.1±7.3 * *
	変化率 (%)	20.7±34.8	24.4±47.8	22.4±41.3
右足底部土踏まず比 (%)	年 中	8.8±4.8 † † †	10.6±6.2 † † †	9.7±5.5 † † †
	年 長	15.3±6.7 * * *	18.5±6.4 * * *	16.8±6.7 * * * †
	変化率 (%)	91.9±66.4 † † †	117.0±107.7 † † †	104.0±88.9 † † †
左 右 平 均 (%)	年 中	11.7±5.6	14.0±6.7	12.8±6.3
	年 長	16.0±6.9 * * *	19.0±6.2 * * *	17.5±6.7 * * *
	変化率 (%)	56.3±42.3	70.7±71.5	63.2±58.2

平均値±標準偏差. * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 vs 年中. † p<0.05 vs 男児.
‡ p<0.05, † † p<0.01, † † † p<0.001 vs 左足底部.

は、足底部に占める土踏まずの割合であり、Hラインによる土踏まず形成の有無の判定より詳細に土踏まずの発育変化を観察することができる。この土踏まず比は男女とも発育により有意に増加しており、土踏まず形成率としては発育変化が認められなかった男児（表2参照）においても土踏まずの形成が生じていることが観察された。また、その増加率においては女児が男児よりも大きい傾向にあったが、標準偏差が大きく有意差は認められなかった。本研究と同じ計算式により土踏まず比を算出している小山（1982）の研究において4歳男児の土踏まず比は $16.1 \pm 7.49\%$ 、5歳男児の土踏まず比は $21.6 \pm 4.20\%$ 、4歳女児の土踏まず比は $20.2 \pm 5.64\%$ 、5歳女児の土踏まず比は $20.9 \pm 5.65\%$ であることが示されている（いずれも左足）。すなわち約20年前に行われた小山の研究に比べ、本研究の被験者の土踏まず比が低いことが伺える。この理由として、前述したように本研究における被験者の土踏まず比が特徴的に低いという可能性と全国的な傾向として土踏まず比が低下してきているという可能性が考えられる。

さらに興味深いことは、土踏まず比に左右差が認められたことである。男女とも年中時は左足よりも右足の土踏まず比が有意に小さく、年長時においても左足よりも右足の土踏まず比が小さい傾向にあり、男女平均では有意に小さかった。また、土踏まず比の年中から年長への増加率にも左右差が認められ、右足の土踏まず比の変化率が左足よりも大きかった。これらの結果は、左足の土踏まずの形成が右足よりも早期からなされていることを示唆していると思われる。しかし平沢（1981）は、右足から土踏まずが形成されると述べており、本研究結果との矛盾が生じた。この理由の一つとして方法論上の問題があるのかもしれない。すなわち直立姿勢時に重心がどちらかに片寄っていた場合は、荷重により接地面積の増加と土踏まず面積の低下が生じ、土踏まず比が低

下することが考えられる。この土踏まず比の左右差については今後も検討して行く必要がある。

土踏まずと疾走スピードの関係

図3に土踏まず形成者と非形成者における疾走スピードを示した。年中男児の疾走スピードにおいて、土踏まず形成者（ $3.43 \pm 0.25 \text{ m/秒}$ ）と非形成者（ $3.42 \pm 0.37 \text{ m/秒}$ ）に有意差はなく、年中女児においても土踏まず形成者（ $3.28 \pm 0.33 \text{ m/秒}$ ）と非形成者（ $3.21 \pm 0.45 \text{ m/秒}$ ）に有意差は認められなかった。同様に、年長男児の疾走スピードにおいて土踏まず形成者（ $3.78 \pm 0.38 \text{ m/秒}$ ）と非形成者（ $3.96 \pm 0.36 \text{ m/秒}$ ）に有意差はなく、年長女児においても土踏まず形成者（ $3.72 \pm 0.35 \text{ m/秒}$ ）と非形成者（ $3.83 \pm 0.45 \text{ m/秒}$ ）に有意差は認められなかった。さらに図としては示していないが、土踏まず比と疾走スピードには有意な相関関係が認められなかった。本研究では幼児期における土踏まずと疾走スピードの関係を検討することが大きな目的であったが、本研究結果より、幼児期における土踏まず形成の有無と疾走スピードには関連がないことが確認された。このことは、土踏まず形成者の割合が男児よりも女児で多い（表2、3）にもかかわらず、疾走スピードには男児と女児で差が認められない（表1）ことから伺える。また、幼児ではないが18～19歳の女性において土踏まず比と50m走の関係を調べた先行研究（音成2000）においても、両者の間に有意な相関関係は認められていない。一方、野田（1998）はその著書の中で、小学生の50m走において土踏まず形成者が非形成者よりも1秒近く速いと述べていることから、疾走能力に及ぼす土踏まずの貢献度は発育段階によって変化するのかもしれない。

さらに我々は、発育による土踏まずの形成が大きい者は疾走スピードの増加も大きいかどうかという疑問を解決するために、年中から年長への土踏まず

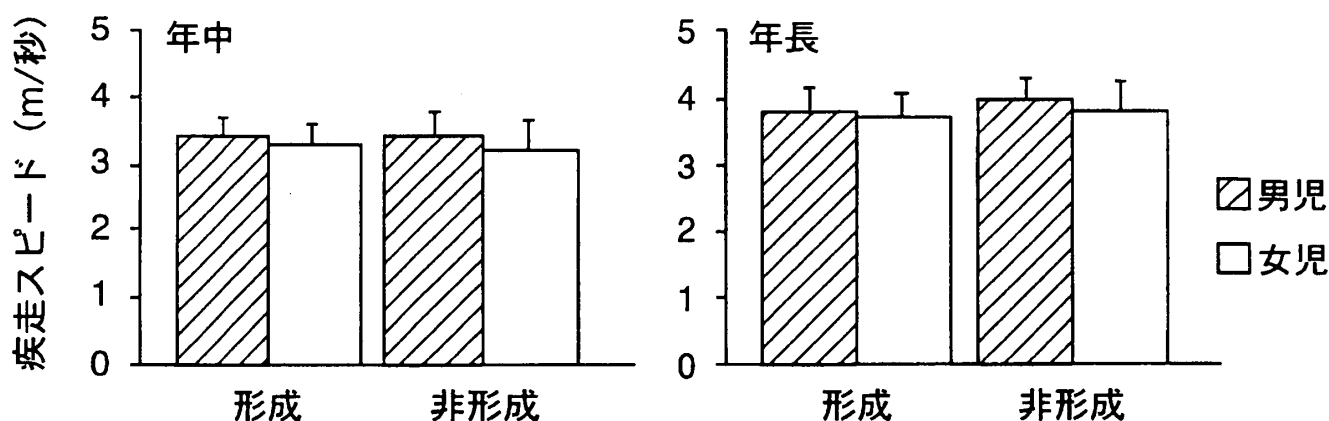


図3 幼児における土踏まず形成者と非形成者の疾走スピードの比較。

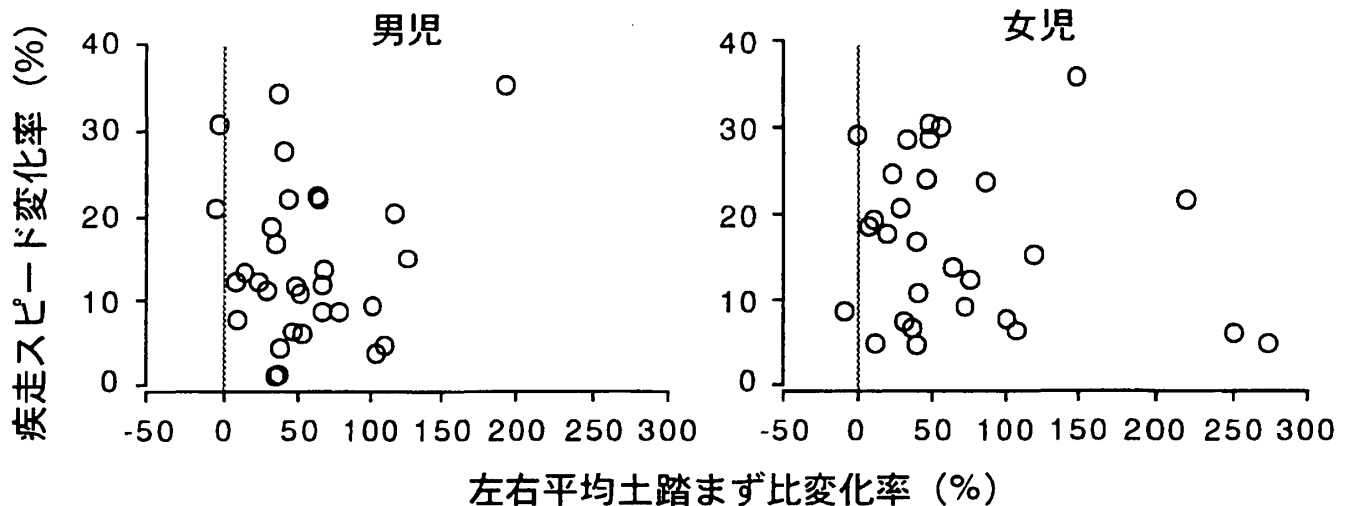


図4 年中から年長への土踏まず比変化率の左右足底部の平均値と疾走スピードの変化率との関係。各々のプロットは各被験者を示している。

比の変化率と疾走スピードの変化率の関係を調べた。もし上記の仮説が正しければ、土踏まず比の変化率と疾走スピードの変化率の間には有意な正の相関関係が認められるはずである。しかしながら図4に示したように両者の関係は認められなかった。したがって、幼児期における土踏まず形成のメカニズムと疾走スピード増加（疾走能力向上）のメカニズムは異なることが示唆される。

謝 辞

本研究に参加していただいた園児ならびに教職員の方々、測定に御協力いただいた本学古賀範雄教授ならびに増田隆助教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 浅見高明. 柔道選手の足跡に関する研究. 武道学研究 2 : 52-58, 1970.

- 2) 浅見高明. 縦断的資料からみた接地足跡形状の発育変化に関する研究. 体育科学 15 : 113-125, 1987.
- 3) 音成陽子. 足裏の形態と運動能力. 九州体育・スポーツ学会第49回大会号 p.40, 2000.
- 4) 小山吉明. 幼児の足の形態発育について. 体育学研究 26 : 317-325, 1982.
- 5) 近藤四郎. 足縦側弓隆の X 線像による研究. 人類学雑誌 66 : 1-11, 1958.
- 6) 中野俊郎. 支持機構としての足部の研究—胎児と成人との比較—. 日整会誌. 47 : 559-579, 1973
- 7) 永田晨. 直立姿勢保持とはだし運動教育—足底形態と安定性の関係—. 姿勢研究 6 : 13-18, 1986.
- 8) 根本芳男. 幼児の接地足跡発育変化に関する研究. 体育学研究 11 : 110-115, 1966.
- 9) 野田雄二. 日本の子どもの土ふまずに関する研究(第一報). 玉川大学文学部「論叢」 20 : 39-66, 1980.
- 10) 野田雄二. 足の裏からみた体. 講談社. 東京, 1998.
- 11) 平沢彌一郎. 接地足跡面積と直立姿勢の安定性についての研究. 三重医学 4 : 2241-2257, 1960.
- 12) 平沢彌一郎. 直立歩行を支える左足. サイエンス 1 : 33-44, 1981.

注：著者は筆頭者のみ記載。