

## 小学校児童の発育に伴う歩容および足部内側縦アーチ構造の変化

### Changes in gait pattern and foot medial longitudinal arch structure along with development in elementary school children

船 渡 和 男\*, 平 野 智 也\*\*, 角 田 直 也\*\*

Kazuo FUNATO\*, Tomoya HIRANO\*\* and Naoya TSUNODA\*\*

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to measure the kinematic variables of the foot medial longitudinal arch (MLA) during the stance and to clarify the relationship between the changes in gait and foot anthropometry along with development in elementary school children.

A total of 248 elementary school children were included into the data analysis. Foot anthropometry was measured by three dimensional whole foot scanner (INFOOT). The subjects walked at a self-selected speed, and when passing through a walkway with a plantar pressure measurement platform (Novel-emed-xl, 100Hz) embedded, plantar load, MLA angle, height and length and spatiotemporal variables during walking were investigated with a two digital video camera (240fps) and compared by grade and gender.

Spatiotemporal variables during walking increased step length and decreased step frequency along with development. In 6th grade, girls showed higher walking speed than boys. Navicular height during static standing and MLA angle, height and length during walking did not differ throughout development when normalized for foot length.

The results of this study suggest that gender differences can be seen in the gait patterns associated with development. However, the MLA structure during static standing and stance is depends on foot length and changes relatively with development in boys and girls.

*Key words; Medial longitudinal arch, gait, Elementary school children*

\* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

## I. 緒 言

足部は身体で唯一地面と接し、全体重を支えることのできる部位である。内側縦アーチ (MLA) は、人類に最も近い猿人類の足部には存在せず、ヒトが二足歩行をするための重要な適応であると考えられており、歩行中にプレーキや加速、衝撃吸収といった役割を果たす<sup>10-12, 15, 19)</sup>。MLAは、立位時の舟状骨高と歩行中の MLA 構造から評価が行われてきた。ヒトの誕生から成人に至る身体の発育過程には、2回の発育急進期があり、小学校高学年から中学生期に見られる第2発育急進期によって、身体は子どもから大人へと急速に変化する<sup>21)</sup>。そのため、発育期の子どもの MLA を対象に多くの研究が行われてきた<sup>2, 3, 8, 14, 16, 18, 20)</sup>。6歳から18歳の日本人10155人を対象に立位時の舟状骨高の発育を調査した Waseda et al.<sup>18)</sup>によると、舟状骨高は6歳から13歳まで統計上有意に増加すると報告している。また、歩行中の MLA 構造は、つま先を除いた足部全体の接地面積と中足部の接地面積の比でから求めるアーチ指数が多くの研究で用いられてきた<sup>4, 5, 14, 16)</sup>。Müller et al.<sup>14)</sup>は、1歳から13歳のドイツ人の子ども7788人を対象に歩行中のアーチ指数を測定した。その結果、アーチ指数は1歳から6歳まで減少し、その後、発育に伴う変化が見られなかったと報告している。つまり、ヒトの足部は平らな構造から始まり、発育に伴い MLA が発達することで中足部の接地面積が減少し、安定した歩行ができるようになる<sup>2, 16)</sup>。しかし、アーチ指数は、立位時のアーチ構造を必ずしも反映する指標ではないことが報告されており<sup>5)</sup>、運動学的データを使用して歩行中の MLA 構造を測定することが推奨されている<sup>1, 11)</sup>。歩行中の MLA 構造の変化を評価した先行研究では、前足部で地面を蹴り出す立脚後期のつま先蹴り出し時に、MLA が硬化することで前方への推進力を生成するとされている<sup>9, 15)</sup>。この前方への推進力の生成には、ウィンドラスメカニズムとアーチスプリングメカニズムと呼ばれ

る2つのメカニズムが関係している。Hicks<sup>6)</sup>が提唱したウィンドラスメカニズムは、つま先蹴り出し時に足趾が背屈することで、足底腱膜が巻き上げられ、MLA が短縮および挙上することで MLA の剛性を高めるとされている。Ker et al.<sup>13)</sup>によって提唱されたアーチスプリングメカニズムは、足部にかかる荷重を MLA の伸張により吸収および蓄積し、つま先蹴り出し時に MLA を短縮することで前方への推進力を生むとされている。この2つのメカニズムが働くことによって、ヒトは効率的に歩くことができる。

子どもの歩行を評価する際の問題点として、発育に伴う歩容の変化が挙げられる。発育に伴う子どもの歩容の変化を評価した Thevenon et al.<sup>17)</sup>は、6歳から12歳までのフランス国内の子ども328名を対象に歩行時空間変数の計測を行った。その結果、発育に伴う歩行速度およびステップ長の増加、ステップ頻度の減少を示し、子どもの歩容の変化には身体サイズの影響が大きいことを報告している。しかし、ステップ長、ステップ頻度および歩行速度は身体サイズが大きくなるのに伴い変化することは明らかである。特に女子では、身長発育速度ピーク年齢が男子よりも約2年早く生じるため、身体サイズが異なる被験者を対象とする際、測定したデータを正規化し、男女別に相対値で評価することが重要である。身体サイズの異なる被験者の歩行時空間変数を比較するために Hof<sup>7)</sup>は、身長値を用いて正規化を行う方法を示している。Waseda et al.<sup>18)</sup>は、足長値を用いて、足サイズの異なる子どもの舟状骨高を相対値から評価する方法を提示している。先行研究が示している正規化の手法を用いることで発育段階によって、身体サイズや足サイズが異なる子ども本来の歩容および MLA 構造を検討することができると考えられる。

そこで本研究は、小学校児童を対象に、立脚期中の MLA の運動学的変数を計測し、発育に伴う歩容、立位時および立脚期中の MLA 構造の変化を明らかにすることを目的とした。

## II. 方 法

被験者は小学校男女児童247名を対象とし、性別および学年ごとに群分けを行った。被験者および保護者には、あらかじめ本研究の趣旨、内容及び安全性に関する説明を行い、書面により参加の同意を得た。本研究は、日本体育大学倫理審査委員会の承諾（承認番号 第017-H091）を得て実施された。

足部の形態情報は、三次元足形分析装置INFOOT（I-Ware Laboratory社製）を用いて取得した。被験者には足底圧分析器（Novel-emed-xl、100Hz）が埋設された歩行路上を、普段自身が歩く際の速度で通過するように指示を行い、歩行中の足底荷重および時空間変数を測定した。歩行中の時空間変数は身長（m）を用いて、足底荷重は体重（N）で正規化を行った。立脚期中の足部キネマティクスデータを取得するために2台のデジタルビデオカメラ（GC-LJ20B、JVC KENWOOD社製、240fps）を用いた。被験者には、解剖学的計測点に基づき右足部にランドマークを3点貼付した。ランドマークの貼付位置は、第一中足骨頭、舟状骨、踵骨内足部とした。立脚期中の足部キネ

マティクスデータは、解剖学的計測点に基づき、第一中足骨頭、舟状骨および踵骨内足部のなす角度としてMLA角度、舟状骨から第一中足骨頭と踵骨内側部の二分線までの垂直距離をMLA高、第一中足骨頭から踵骨内側部までの距離をMLA長と定義した。足部キネマティクスデータは、踵接地時のデータを基準にして、立脚期中の変化量（ $\Delta$ ）を求めた。被験者間の足長の影響を考慮し、MLA高およびMLA長の検出された値は足長（mm）で除して正規化を行った。

## III. 結 果

表1に性別および学年ごとの足部形態計測値を示した。足長は、発育に伴い統計上有意な増加を示した（ $p<0.05$ ）。舟状骨高は、1年生および4年生と比較して6年生が統計上有意に高い値を示したが（ $p<0.05$ ）、足長で正規化を行った場合、学年間に統計的有意差は見られなかった。

表2に性別および学年ごとの歩行中の時空間変数を示した。歩行中の時空間変数は、発育に伴い立脚時間、ステップ時間およびステップ長において統計上有意な増加を示し、ステップ頻度は統計

表1 性別及び学年ごとの足部形態計測値

Grade	n	足長 (mm)		舟状骨高 (mm)		舟状骨高/足長 (%)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
全体	1	48	190.9 ± 9.5	29.5 ± 5.5	15.5 ± 3.1	b, c, d, e, f	a, f
	2	34	197.6 ± 13.1	31.8 ± 5.0	16.2 ± 2.9	a, d, e, f	
	3	35	205.6 ± 11.3	31.9 ± 5.3	15.5 ± 2.5	a, d, e, f	
	4	41	215.3 ± 11.1	31.2 ± 4.8	14.5 ± 2.3	a, b, c, e, f	f
	5	41	223.1 ± 10.8	33.0 ± 5.2	14.8 ± 2.2	a, b, c, d, f	a
	6	49	232.1 ± 11.4	35.1 ± 5.7	15.1 ± 2.3	a, b, c, d, e	a, d
男子	1	30	192.2 ± 9.3	29.7 ± 5.3	15.5 ± 2.9	*	
	2	13	202.8 ± 13.7	29.9 ± 5.6	14.9 ± 3.2	*	
	3	16	204.3 ± 10.7	30.7 ± 5.3	15.1 ± 2.7	*	
	4	20	216.5 ± 11.4	31.5 ± 5.5	14.6 ± 2.6	*	
	5	19	222.7 ± 13.9	33.9 ± 5.2	15.3 ± 2.3	*	
	6	28	235.2 ± 12.7	34.9 ± 6.3	14.8 ± 2.4	*	
女子	1	18	188.8 ± 9.7	29.4 ± 6.0	15.6 ± 3.6	‡	
	2	21	194.3 ± 11.3	32.9 ± 4.4	17.0 ± 2.4	‡	
	3	19	206.6 ± 11.9	32.9 ± 5.2	15.9 ± 2.4	‡	
	4	21	214.1 ± 10.4	30.9 ± 5.0	14.5 ± 2.4	‡	
	5	22	223.4 ± 7.5	32.2 ± 5.0	14.4 ± 2.1	‡	
	6	21	227.9 ± 8.0	35.4 ± 5.0	15.5 ± 2.1	‡	

p<0.05, a: vs 1st grade, b: vs 2nd grade, c: vs 3rd grade, d: vs 4th grade, e: vs 5th grade, f: vs 6th grade, \*: vs 女子, ‡: vs 男子

表2 性別および学年ごとの歩行中の時空間変数

Grade	立脚時間 (sec)		ステップ時間 (sec)		ステップ長 (m)		ステップ頻度 (step/sec)		歩行速度 (m/sec)		正規化したステップ長		正規化したステップ頻度		正規化した歩行速度	
	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD
1	48	0.56 ± 0.05 <sup>a, e, f</sup>	46	0.04 ± 0.04 <sup>a, f</sup>	52	0.07 ± 0.07 <sup>b, c, d, e, f</sup>	2.19	0.20 ± 0.20 <sup>a, e, f</sup>	1.14	0.17 ± 0.17 <sup>f</sup>	0.43	0.06 ± 0.06	0.77	0.07 ± 0.07	0.33	0.05 ± 0.05
2	34	0.56 ± 0.05 <sup>a, e, f</sup>	47	0.05 ± 0.05 <sup>a, f</sup>	55	0.06 ± 0.06 <sup>b, e, f</sup>	2.17	0.23 ± 0.23 <sup>a, f</sup>	1.20	0.18 ± 0.18	0.44	0.05 ± 0.05	0.78	0.08 ± 0.08	0.34	0.05 ± 0.05
3	35	0.59 ± 0.05 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.03 <sup>f</sup>	0.56 ± 0.06 <sup>a, e, f</sup>	2.10 ± 0.14 <sup>f</sup>	1.18 ± 0.16	0.42 ± 0.04	0.77 ± 0.05	0.33 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.06 ± 0.06	0.78 ± 0.05	0.33 ± 0.04	0.33 ± 0.04	0.04 ± 0.04	
4	40	0.60 ± 0.05 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.03 <sup>f</sup>	0.59 ± 0.05 <sup>a, b, f</sup>	2.08 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.16	2.01 ± 0.12 <sup>a, b</sup>	1.23 ± 0.12	0.33 ± 0.04	0.42 ± 0.03	0.03 ± 0.03	0.77 ± 0.05	0.33 ± 0.04	0.33 ± 0.04	0.03 ± 0.03	
5	41	0.62 ± 0.04 <sup>a, b</sup>	0.50 ± 0.03 <sup>a, b</sup>	0.61 ± 0.05 <sup>a, b, c</sup>	2.01 ± 0.12 <sup>a, b</sup>	1.23 ± 0.12	1.97 ± 0.15 <sup>a, b, c</sup>	1.23 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.04	0.41 ± 0.03	0.03 ± 0.03	0.77 ± 0.05	0.32 ± 0.04	0.32 ± 0.04	0.04 ± 0.04	
6	49	0.63 ± 0.05 <sup>a, b, c, d</sup>	0.51 ± 0.04 <sup>a, b, c, d</sup>	0.62 ± 0.06 <sup>a, b, c, d</sup>	1.97 ± 0.15 <sup>a, b, c</sup>	1.23 ± 0.14 <sup>a</sup>	2.18 ± 0.23 <sup>*</sup>	1.14 ± 0.17	0.33 ± 0.05	0.43 ± 0.05	0.05 ± 0.05	0.77 ± 0.08	0.33 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.05 ± 0.05	
1	30	0.57 ± 0.06 <sup>*</sup>	0.46 ± 0.05 <sup>a, e, f</sup>	0.52 ± 0.07	2.21 ± 0.22 <sup>*</sup>	1.24 ± 0.17	2.21 ± 0.22 <sup>*</sup>	1.24 ± 0.17	0.35 ± 0.05	0.44 ± 0.06	0.06 ± 0.06	0.80 ± 0.08 <sup>*</sup>	0.35 ± 0.05	0.35 ± 0.05	0.05 ± 0.05	
2	13	0.56 ± 0.06 <sup>*</sup>	0.46 ± 0.05 <sup>a, e, f</sup>	0.56 ± 0.07	2.07 ± 0.16 <sup>*</sup>	1.18 ± 0.14	2.07 ± 0.16 <sup>*</sup>	1.18 ± 0.14	0.33 ± 0.04	0.43 ± 0.03	0.03 ± 0.03	0.76 ± 0.05	0.33 ± 0.04	0.33 ± 0.04	0.04 ± 0.04	
3	16	0.60 ± 0.06 <sup>*</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>f</sup>	0.57 ± 0.04	2.02 ± 0.16 <sup>*</sup>	1.20 ± 0.19	2.02 ± 0.16 <sup>*</sup>	1.20 ± 0.19	0.33 ± 0.04	0.43 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.76 ± 0.06 <sup>*</sup>	0.33 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.05 ± 0.05	
4	20	0.61 ± 0.05 <sup>*</sup>	0.50 ± 0.04 <sup>a, b, *</sup>	0.59 ± 0.06	1.97 ± 0.13 <sup>*</sup>	1.18 ± 0.10	1.97 ± 0.13 <sup>*</sup>	1.18 ± 0.10	0.32 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.03 ± 0.03	0.75 ± 0.04	0.32 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.03 ± 0.03	
5	19	0.62 ± 0.04 <sup>*</sup>	0.51 ± 0.03 <sup>a, b</sup>	0.60 ± 0.05	1.91 ± 0.13 <sup>*</sup>	1.18 ± 0.13 <sup>*</sup>	1.91 ± 0.13 <sup>*</sup>	1.18 ± 0.13 <sup>*</sup>	0.31 ± 0.03	0.41 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.75 ± 0.05 <sup>*</sup>	0.31 ± 0.03	0.31 ± 0.03	0.03 ± 0.03	
6	28	0.65 ± 0.05 <sup>*</sup>	0.53 ± 0.04 <sup>a, b, c, *</sup>	0.62 ± 0.06	2.21 ± 0.14 <sup>†</sup>	1.13 ± 0.17 <sup>f</sup>	2.21 ± 0.14 <sup>†</sup>	1.13 ± 0.17 <sup>f</sup>	0.33 ± 0.05	0.42 ± 0.06	0.06 ± 0.06	0.78 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.05 ± 0.05	
1	18	0.56 ± 0.04 <sup>†</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>*</sup>	0.51 ± 0.07	2.14 ± 0.22 <sup>†</sup>	1.18 ± 0.20	2.14 ± 0.22 <sup>†</sup>	1.18 ± 0.20	0.34 ± 0.06	0.44 ± 0.05	0.05 ± 0.05	0.76 ± 0.05	0.34 ± 0.06	0.34 ± 0.06	0.06 ± 0.06	
2	21	0.56 ± 0.05 <sup>†</sup>	0.47 ± 0.05	0.55 ± 0.06	2.12 ± 0.12 <sup>†</sup>	1.18 ± 0.18	2.12 ± 0.12 <sup>†</sup>	1.18 ± 0.18	0.33 ± 0.05	0.42 ± 0.05	0.05 ± 0.05	0.78 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.05 ± 0.05	
3	19	0.58 ± 0.03 <sup>†</sup>	0.47 ± 0.03	0.56 ± 0.07	2.15 ± 0.11 <sup>†</sup>	1.25 ± 0.11	2.15 ± 0.11 <sup>†</sup>	1.25 ± 0.11	0.34 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.04 ± 0.04	0.81 ± 0.04 <sup>†</sup>	0.34 ± 0.03	0.34 ± 0.03	0.03 ± 0.03	
4	20	0.58 ± 0.05 <sup>†</sup>	0.47 ± 0.02 <sup>†</sup>	0.58 ± 0.04	2.04 ± 0.13 <sup>†</sup>	1.27 ± 0.15	2.04 ± 0.13 <sup>†</sup>	1.27 ± 0.15	0.33 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.79 ± 0.05	0.33 ± 0.04	0.33 ± 0.04	0.04 ± 0.04	
5	22	0.62 ± 0.04 <sup>†</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>†</sup>	0.62 ± 0.05	2.06 ± 0.14 <sup>†</sup>	1.30 ± 0.13 <sup>a, †</sup>	2.06 ± 0.14 <sup>†</sup>	1.30 ± 0.13 <sup>a, †</sup>	0.34 ± 0.04	0.42 ± 0.03	0.03 ± 0.03	0.81 ± 0.05 <sup>†</sup>	0.34 ± 0.04	0.34 ± 0.04	0.03 ± 0.03	
6	21	0.60 ± 0.05 <sup>†</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>†</sup>	0.63 ± 0.04												

p<0.05, a, vs 1st grade, b, vs 2nd grade, c, vs 3rd grade, d, vs 4th grade, e, vs 5th grade, f, vs 6th grade, \*, vs 女子, † vs 男子

上有意な減少を示した (p<0.05)。歩行速度は、1年生と比較して、6年生が統計上有意に高い値を示した (p<0.05)。6年生において、男子は女子と比較して、歩行速度で統計上有意に低い値を示した (p<0.05)。身長で正規化した歩行中の時空間変数は、4年生および6年生において、男子は女子と比較して、正規化したステップ頻度で統計上有意に低い値を示した (p<0.05)。このことから、男子と比較して第二発育急進期を早く迎える女子は、ステップ頻度を高めることで、男子よりも歩行速度を高めていることが示唆された。

図1に体重で正規化した学年ごとの立脚期中の足底荷重平均値の比較を示した。体重で正規化した足底荷重平均値は、学年間に統計的有意差は見られなかったが、各学年で立脚期初期に第一ピーク、立脚期後期に第二ピークが見られた。

図2に学年ごとの立脚期中のΔMLA角度平均値の比較を示した。立脚期中のΔMLA角度は、学年間に統計的有意差は見られなかったが、各学

—1年生—2年生—3年生—4年生—5年生—6年生

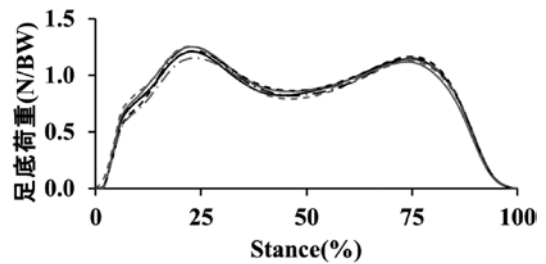


図1 立脚期中の足底荷重の経時的変化 (各学年の平均値)

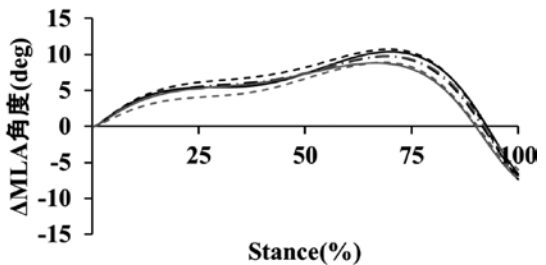


図2 立脚期中のΔMLA角度の経時的変化 (各学年の平均値)

—1年生---2年生---3年生—4年生---5年生---6年生

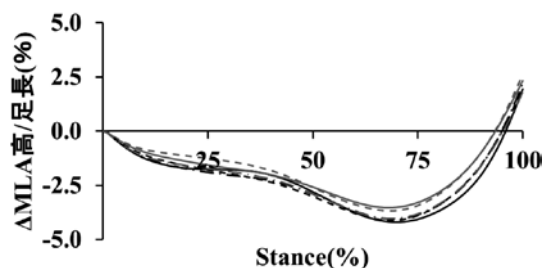


図3 立脚期中のΔMLA高の経時的変化 (各学年の平均値)

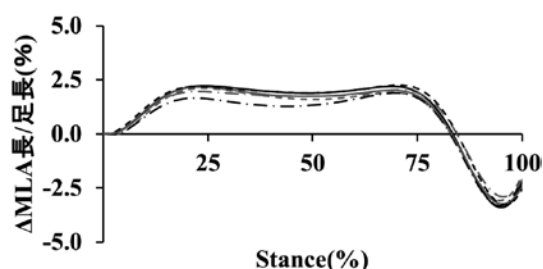


図4 立脚期中のΔMLA長の経時的変化 (各学年の平均値)

年で立脚期後期に最大の変化量が見られた。

図3に足長で正規化した学年ごとの立脚期中のΔMLA高平均値の比較を示した。足長で正規化した立脚期中のΔMLA高は、学年間に統計的有意差は見られなかったが、各学年で立脚期後期に最大の変化量が見られた。

図4に学年ごとの立脚期中のΔMLA長平均値の比較を示した。足長で正規化した立脚期中のΔMLA長は、学年間に統計的有意差は見られなかったが、各学年で立脚期初期から立脚期後期にかけてMLA長が伸張する様相が見られた。

男女における各学年の立脚期中の足底荷重およびMLA構造の変化量は、統計的有意差がみられなかった。

#### IV. 考 察

性別ごとの時空間変数において、男子は女子と比較して、立脚時間が統計上有意に高く、ステッ

プ頻度が統計上有意に低い値を示した。性別および学年ごとの時空間変数において、6年生男子は6年生女子と比較して、統計上有意に高いステップ時間、統計上有意に低い歩行速度を示した。ステップ長において、性差が見られなかったことから、女子は男子と比較して、1ステップの所要時間が短く、高いステップ頻度を示したことが考えられる。また、6年生は男女ともに第二発育急進期を迎え、身長が発育が盛んになる<sup>21)</sup>。身長発育速度ピーク年齢は、女子では男子よりも約2年速く生じるため、測定したデータを正規化し、男女別に相対値で評価を行った。その結果、正規化したステップ頻度において、6年生女子は6年生男子と比較して、統計上有意に高い値を示した。統計的有意差は見られなかったものの正規化した歩行速度は、6年生女子で $0.34 \pm 0.03$ 、6年生男子で $0.31 \pm 0.03$ と女子が男子と比較して、高い値を示す傾向であった。正規化したステップ長で6年生女子と6年生男子の間に統計的有意差がみられなかったことから、第二発育急進期を迎えた女子は、身体サイズが変化しても高い男子と比較して高いステップ頻度を維持することで、高い歩行速度を示したと考えられる。以上のことから、小学校児童は、第二発育急進期を境に性別によって、発育に伴う歩容の変化が異なることが示唆された。

立脚期中のΔMLA角度および足長で正規化したΔMLA高は、性別および学年間で統計的有意差は見られなかったが、各学年で立脚期後期に最大の変化量が見られた。立脚期中の足長で正規化したΔMLA長は、性別および学年間で統計的有意差は見られなかったが、各学年で立脚期初期から立脚期後期にかけてMLA長が伸張する様相が見られた。MLA長は、立脚期初期から立脚期後期まで伸長し、立脚期後期に急速に短縮した。この立脚期中のMLA長の変化は、足部にかかる荷重をMLAの伸張により吸収および蓄積し、つま先蹴り出し時にMLA長を短縮することで前方への推進力を生むアーチスプリングメカニズム<sup>13)</sup>が働いたと考えられる。また、MLA高は、立脚

期の初期から減少、つま先蹴り出し時に最小値を示し、その後急速に拳上した。MLA角度は、MLA高の減少に伴い立脚期の初期から増加し、つま先蹴り出し時に最大値を示した。つま先蹴り出し時は足趾が背屈することで、足底腱膜が巻き上げられ、MLA長が短縮し、アーチ高が拳上するウィンドラスメカニズム<sup>6)</sup>が働く。これにより、MLAの剛性が高まるとされている。

したがって、立脚期中のMLA構造は、立脚期初期から立脚期中期にかけてMLA長が伸長することで弾性エネルギーを貯蔵、つま先蹴り出し時に足趾が背屈することでMLA長を短縮し、MLA高が拳上することでMLAの剛性が高まり、前方への推進力を得ていることが示唆された<sup>9, 15)</sup>。この立脚期中のMLAの機能は、性別を問わず1年生から有していることが考えられ、立脚期中のMLA構造の変化は、足長に依存しており、発育に伴い相対的に変化することが示唆された。

## V. ま と め

本研究の目的は、小学校児童を対象に、立脚期中のMLAの運動学的変数を計測し、発育に伴う歩容、立位時および歩行中のMLA構造の変化を明らかにすることであった。その結果、得られた知見は以下の通りである。

1. 歩行中の時空間変数は、発育に伴い立脚時間、ステップ時間、ステップ長および歩行速度が増加、ステップ頻度は減少する。6年生において女子は、男子と比較して高い歩行速度を示した。身長を用いて歩行中の時空間変数の正規化を行うと、4年生および6年生において女子は男子と比較して高いステップ頻度を示した。
2. 立位時の足長は、発育に伴い増加し、舟状骨高は、5年生および6年生で増加する。しかし、足長を用いて立位時の舟状骨高の正規化を行うと、発育を通して違いはみられない。
3. 立脚期中のMLA構造は、立脚期後期に最大の変化量および足底荷重の第二ピークが見られ、伸長したMLAの短縮により前方への推進力を生成していることが示唆された。足長を用いて立脚期中のMLA構造の正規化を行うと、発育を通して違いはみられない。

以上のことから、男子と比較して第二発育急進期を早く迎える女子は、小学校6年生において歩行速度および身長で正規化したステップ頻度が高いことが示されたが、立位時および立脚期中のMLA構造の変化は、足長に依存しており、発育に伴い男女ともに相対的に変化することが示唆された。

本研究は、令和3年度国士舘大学体育学部附属体育研究所助成により行われた。また、本研究の実施にあたって、本学スポーツ・システム研究科博士課程大学院生の木内聖氏に多大な協力を頂いたことに感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) Bencke Jesper, Christiansen Ditte, Jensen Kathrine, Okholm Anne, Sonne-Holm Stig, Bandholm Thomas: Measuring medial longitudinal arch deformation during gait. A reliability study, *Gait & posture*, 35 : 400-404, 2012.
- 2) Bertsch Carola, Unger Heidi, Winkelmann Winfried, Rosenbaum Dieter: Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children, *Gait & Posture*, 19 : 235-242, 2004.
- 3) Bosch Kerstin, Gerß Joachim, Rosenbaum Dieter: Development of healthy children's feet—nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns, *Gait & posture*, 32 : 564-571, 2010.
- 4) Cavanagh Peter R, Rodgers Mary M: The arch index: a useful measure from footprints, *Journal of biomechanics*, 20 : 547-551, 1987.
- 5) Hawes Michael R, Nachbauer Werner, Sovak Daniela, Nigg Benno M: Footprint parameters as a measure of arch height, *Foot & ankle*, 13 : 22-26, 1992.
- 6) Hicks JH: The mechanics of the foot: II. The

- plantar aponeurosis and the arch, *Journal of anatomy*, 88 : 25, 1954.
- 7) Hof At L : Scaling gait data to body size, *Gait & posture*, 3 : 222-223, 1996.
  - 8) Hollander Karsten, De Villiers Johanna Elsabe, Sehner Susanne, Wegscheider Karl, Braumann Klaus-Michael, Venter Ranel, Zech Astrid : Growing-up (habitually) barefoot influences the development of foot and arch morphology in children and adolescents, *Scientific reports*, 7 : 1-9, 2017.
  - 9) Holowka Nicholas B, Lieberman Daniel E : Rethinking the evolution of the human foot : insights from experimental research, *Journal of experimental biology*, 221 : jeb174425, 2018.
  - 10) Holowka Nicholas B, O'Neill Matthew C, Thompson Nathan E, Demes Brigitte : Chimpanzee and human midfoot motion during bipedal walking and the evolution of the longitudinal arch of the foot, *Journal of human evolution*, 104 : 23-31, 2017.
  - 11) Holowka Nicholas B, Wallace Ian J, Lieberman Daniel E : Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally-vs. conventionally-shod populations, *Scientific reports*, 8 : 1-12, 2018.
  - 12) Kelly Luke A, Lichtwark Glen, Cresswell Andrew G : Active regulation of longitudinal arch compression and recoil during walking and running, *Journal of The Royal Society Interface*, 12 : 20141076, 2015.
  - 13) Ker RF, Bennett MB, Bibby SR, Kester RC, Alexander R McN : The spring in the arch of the human foot, *Nature*, 325 : 147-149, 1987.
  - 14) Müller Steffen, Carlsohn Anja, Müller Juliane, Baur Heiner, Mayer Frank : Static and dynamic foot characteristics in children aged 1-13 years : a cross-sectional study, *Gait & posture*, 35 : 389-394, 2012.
  - 15) Mahieu Céline, Salvia Patrick, Beyer Benoît, Rooze Marcel, Feipel Véronique, Van Sint Jan Serge : Metatarsal arch deformation and forefoot kinematics during gait in asymptomatic subjects, *International Biomechanics*, 6 : 75-84, 2019.
  - 16) Onodera Andrea Naomi, Sacco Isabel Camargo Neves, Morioka Eliana Harumi, Souza Priscila Saraiva, de Sá Márcia Regina, Amadio Alberto Carlos : What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur?, *The Foot*, 18 : 142-149, 2008.
  - 17) Thevenon A, Gabrielli F, Lepvrier J, Faupin A, Allart E, Tiffreau V, Wieczorek V : Collection of normative data for spatial and temporal gait parameters in a sample of French children aged between 6 and 12, *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 58 : 139-144, 2015.
  - 18) Waseda Akeo, Suda Yasunori, Inokuchi Suguru, Nishiwaki Yuji, Toyama Yoshiaki : Standard growth of the foot arch in childhood and adolescence-derived from the measurement results of 10,155 children, *Foot and Ankle Surgery*, 20 : 208-214, 2014.
  - 19) Welte Lauren, Kelly Luke A, Lichtwark Glen A, Rainbow Michael J : Influence of the windlass mechanism on arch-spring mechanics during dynamic foot arch deformation, *Journal of the Royal Society Interface*, 15 : 20180270, 2018.
  - 20) Yin Jichao, Zhao Hongmou, Zhuang Guihua, Liang Xiaojun, Hu Xinglv, Zhu Yi, Zhang Rongqiang, Fan Xiaochen, Cao Yi : Flexible flatfoot of 6-13-year-old children : A cross-sectional study, *Journal of Orthopaedic Science*, 23 : 552-556, 2018.
  - 21) 日本体育協会 : 公認スポーツ指導者養成テキスト 第7刷版, 日本体育協会, p.冊, 2010.