

ジュニアアスリートにおいて足部形態が
運動器機能およびスポーツ動作に与える影響
—新たなスポーツ傷害スクリーニングの確立に向けて—

広島大学病院 生田 祥也
(共同研究者) 同 藤下 裕文
同 大林 弘宗
同 坂光 徹彦
同 島田 雅史

Foot Alignment and Musculoskeletal Function in Adolescent Athletes

by

Ikuta Yasunari
*Sports Medical Center (Orthopaedic Surgery),
Hiroshima University Hospital*
Hironori Fujishita, Hiromune Oobayasi,
Tetsuhiko Sakamitsu, Masashi Shimada
Sports Medical Center, Hiroshima University Hospital

ABSTRACT

High incidence rate of sports-related injuries is recognized in adolescents. Although flexible flatfoot is a common foot condition in adolescent populations, the association between foot morphology and musculoskeletal function remain unclear in adolescents. Rearfoot angle in the double-limb standing position, isometric muscle strength of the knee and ankle, and morphology of the intrinsic foot muscles were measured in 39 adolescent athletes (19 boys and 20 girls) with a mean age of 13.7 years. Gait assessment during comfortable walking was investigated using plantar pressure measuring system and wearable inertial sensor. The participants were divided according

to their rearfoot angle into control (less than 7°) and valgus (greater than or equal to 7°) groups. An excessive valgus rearfoot angle was detected in 33 feet (48.5%). Although no statistical differences were observed in muscle strength of the knee, and morphology of the intrinsic foot muscles between the control and valgus groups, the valgus group demonstrated greater muscle strength in ankle dorsiflexion, higher dorsiflexion angle at heel contact. In the valgus group, the foot plantar pressure was significantly larger in hallux area, and smaller in metatarsal area and heel area. Our findings suggest that excessive rearfoot valgus affects the plantar pressure distribution and gait patterns in adolescent athletes.

要 旨

可撓性扁平足は思春期年代によくみられる足部変形である。扁平足は体幹・下肢の運動連鎖に影響して運動器疾患リスクを上昇させるが、成長期における足部形態と歩行時の足圧分布や下肢運動器機能の関連は未だ明らかでない。本研究では定期的な運動習慣を有する成長期アスリート39名78足(平均年齢13.7歳, 男19名, 女20名)を対象とし, 足部アライメント異常の発生率, 足部形態と体組成, 下肢筋力, 歩行時の足底圧分布と歩行動作の関連を調査した。下腿踵部軸角(LHA)7度以上の外反群は33足(42.5%), 7度未満の正常群は45足であった。外反群では足関節背屈筋力と歩行時の踵接地角度が高値であり, ピーク足底圧は後足部と中足骨頭領域で低く, 母趾では高値であった。成長期アスリートの足部アーチは発達段階にあるため, LHAによる足部アライメント評価が有用であり, 過度の後足部外反は足関節背屈筋力, 歩行時の足底圧分布と踵接地角度に影響することが示唆された。

諸 言

スポーツやレクリエーションに関連する外傷は10歳から14歳の小児で最も高率に発生する¹⁾。また可撓性扁平足は思春期年代によくみられる足

部変形であり²⁾, 7歳から14歳の小児では治療介入を要する扁平足の有病率は10.3%とされる³⁾。扁平足は足部のみならず, 歩行動作において体幹から下肢の運動連鎖に影響することから, 運動器疾患のリスクを上昇させるといわれており⁴⁾, 若年成人女性の報告では足関節捻挫の発生率は正常足よりも扁平足で高い⁵⁾。扁平足や凹足などの足部形態と歩行時の足圧分布や下肢運動器機能の関連について, これまで成人を対象とした報告はみられるが, 成長期の小児に関しては未だ明らかでない。本研究では定期的な運動習慣を有する成長期アスリートにおける足部アライメント異常の発生率を明らかにし, 足部形態と体組成, 下肢筋力, 歩行時の足底圧分布, 歩行動作の関連を調査し, 成長期の小児において足部形態が運動器機能に与える影響を検討する。

1. 研究方法

1. 1 対 象

2020年度に当スポーツ医科学センターでのメディカル・フィジカルチェックに参加した成長期アスリート(市スポーツ協会の指定強化選手)46名のうち, 3ヵ月以内にスポーツ活動の休止を要する運動器傷害がなく, 正常に各計測データを取得できた39名78足(平均年齢13.7歳, 男19名, 女20名)を対象とした。本研究は広島大学におい

て倫理審査委員会の承認を得て実施した。

1. 2 評価項目

1. 2. 1 体組成

参加者は前日から最低9時間の絶食、計測前30分間は絶飲水とし、午前9時から10時の時間帯にInBody S10 (InBody Co, Seoul) を使用し仰臥位で計測を実施した。

1. 2. 2 足部アライメント

足部アライメントの指標として、両脚全荷重立位での下腿踵部軸角 (leg heel angle: LHA, 度)、足長を舟状骨高で除したNavicular index、非荷重位と荷重位での舟状骨結節高の差である Navicular drop を計測した。LHA 7度を基準に被験者を正常群 (<7度)、外反群 (≥7度) の2群へ類別した⁶⁾。

1. 2. 3 足部内在筋と足底腱膜

超音波画像診断装置 (Noblus; Hitachi, Japan), 5-18MHz リニアプローブを用い、腹臥位、膝関節90度屈曲位、足関節中間位で母趾外転筋、短母趾屈筋、短趾屈筋の厚み (長軸像) と断面積 (短軸像)、足底腱膜の厚み (長軸像) を計測した⁷⁾。

1. 2. 4 下肢筋力

Biodex System 4 (Biodex Medical Systems, USA) を用い、膝関節屈曲伸展、足関節底背屈の等速性筋力 (60度毎秒) を測定した。また足趾筋力測定器 (竹井機器工業, 新潟) を用い、足趾把持力を計測した。

1. 2. 5 足底圧分布と歩行分析

インソール型足圧分布測定器 (Pedar; Novel, Munich, Germany)⁸⁾ を両側の靴に入れ、3軸ジャイロスコープと3軸加速度センサーで構成される慣性センサー (Physilog[®]5; GaitUp Ltd., Lausanne, Switzerland) を両足の靴紐に固定し、課題動作として30mの快適歩行を指示した。足底圧分布は中間の16歩を解析対象として、足底全体のピーク圧を算出した。また足底を後足部内側 (1)、後足部外側 (2)、中足部内側 (3)、中足部外側 (4)、

第1中足骨頭 (5)、第2,3中足骨頭 (6)、第4,5中足骨頭 (7)、母趾 (8)、外側趾 (9) の9領域に分け各領域のピーク足底圧を比較検討した。

歩行分析では開始および終了時の2歩行周期を除外した歩行周期のデータを解析した。歩行パラメータとして、1歩行周期の時間 (s)、1分間当たりの歩数であるケイデンス (step/min)、立脚期と遊脚期の比 (%), ストライド長 (m)、歩行速度 (m/s)、踵接地角度 (deg)、離床角度 (deg) を解析した。

1. 3 統計学的検討

計測項目の2群間比較にはカイ二乗検定、Welch のt検定を用い、有意水準は両側5%とした。

2. 研究結果

2. 1 足部アライメント (表1)

LHA 7度以上の外反群は33足 (42.5%)、平均LHA 9.1 ± 1.9 度、7度未満の正常群は45足、平均LHA 4.1 ± 1.7 度であった。Navicular index は外反群で高く、Navicular drop は両群間に有意差を認めなかった。

2. 2 群間比較 (表1-3)

足関節背屈筋力は外反群で有意に高く、体組成、足部内在筋の断面積と厚み、足底腱膜の厚み、膝関節屈曲伸展筋力、足関節底屈筋力、足趾把持力は両群間に有意差を認めなかった。足底全体のピーク圧は両群間に有意差を認めなかったが、各領域のピーク足底圧は外反群では後足部 (1, 2)、中足骨頭 (5-7) が低く、母趾 (8) は高値であった。歩行分析では外反群の踵接地角度は有意に大きかった。また1歩行周期の時間は外反群で有意に短いものの、その差は0.03秒であり、他のパラメータには有意差を認めなかった。

表 1

	正常群 (n=45)	外反群 (n=33)	P値
年齢	13.9±0.9	13.4±1.0	0.038
性別			
男	21	17	
女	24	16	0.85
身長 (cm)	161.4±7.2	160.7±5.2	0.67
BMI (kg/m ²)	21.2±3.5	20.4±2.4	0.37
LHA (度)	4.1±1.7	9.1±1.9	<0.01
Navicular index	6.9±1.1	7.4±1.1	0.046
Navicular drop (mm)	8.4±2.9	8.2±2.9	0.72
等速性筋力 (Nm/kg)			
膝伸展	191.0±32.9	198.2±28.2	0.32
膝屈曲	92.5±26.8	99.6±23.4	0.22
足関節背屈	37.6±8.4	44.9±16.7	0.041
足関節底屈	80.6±25.5	87.0±26.5	0.29
足趾把持力 (kg)	19.1±5.7	20.3±5.5	0.67
筋断面積 (mm ²)			
母趾外転筋	243.5±56.6	241.5±72.5	0.9
短母趾屈筋	208.7±31.7	218.4±32.0	0.19
短趾屈筋	191.8±48.7	206.1±52.9	0.22
筋厚 (mm)			
短母趾屈筋	10.5±1.9	10.4±1.4	0.84
短趾屈筋	7.5±1.6	7.9±1.5	0.32
足底腱膜厚			
近位	2.5±0.7	2.6±0.7	0.83
遠位	0.9±0.2	0.9±0.3	0.68

表 2 ピーク足底圧

(kPa)	正常群 (n=45)	外反群 (n=33)	P値
足底全体	279.6±32.6	251.2±76.1	0.52
後足部内側 (1)	111.3±25.7	99.2±19.7	0.026
後足部外側 (2)	115.9±22.6	103.8±22.3	0.021
中足部内側 (3)	22.8±14.4	24.8±12.3	0.52
中足部外側 (4)	64.2±15.6	57.6±14.6	0.062
第1中足骨頭 (5)	119.6±40.4	100.8±33.5	0.033
第2,3中足骨頭 (6)	115.8±28.2	98.8±27.7	0.01
第4,5中足骨頭 (7)	103.1±24.3	86.8±19.1	0.002
母趾 (8)	131.7±54.1	158.4±54.4	0.034
外側趾 (9)	59.5±20.6	63.6±18.9	0.376

表 3 歩行分析のパラメータ

	正常群 (n=45)	外反群 (n=33)	P値
1歩行周期の時間 (s)	1.13±0.07	1.1±0.05	0.034
ケイデンス (step/min)	107.1±6.8	109.7±4.8	0.05
立脚期 (%)	62.4±2	62.4±1.6	0.99
遊脚期 (%)	37.6±2	37.6±1.6	0.99
ストライド長 (m)	1.3±0.1	1.3±0.09	0.26
歩行速度 (m/s)	1.1±0.2	1.2±0.1	0.13
踵接地角度 (deg)	21.7±6.6	24.5±3.1	0.015
離床角度 (deg)	-73.8±10.9	-78.0±5.6	0.088

3. 考 察

本研究では臨床評価において足部形態を予測する最適なパラメータと報告されているLHA⁹⁾を用い、成長期アスリートの足部アライメント評価を行った。LHAは性差がなく、3歳から6歳で約4度の外反位となり、16歳まで大きな変化なく維持される^{6, 10, 11)}。一方で舟状骨高から算出する指標について、Navicular indexは正常足と扁平足の識別に有用とされ、単純X線画像による若年者242足(平均年齢11歳)の解析では正常値5.48、カットオフ値6.74であった¹²⁾。またArch height ratioは男児では18歳、女児では17歳まで増加することが報告されている¹³⁾。本研究では正常群と比べ外反群のNavicular indexは高値を示したが、その差は僅かであった。またNavicular drop、足部アーチを補助する役割を有する足部内在筋の断面積・厚みは両群間で有意差はみられなかった。これらは成長期アスリート(平均年齢13.7歳)の足部アーチが発達段階にあることが要因と考えられる。Mirrored foot photo boxでの足部形態(正常足、扁平足、凹足)と13項目の足部計測パラメータによる回帰分析において足部形態の予測因子としてLHAは最適であり⁹⁾、特に足部アーチが発達段階にある成長期年代の足部形態評価には、舟状骨高を指標とするパラメータよりもLHA計測が適していると考えられた。Sobelらは6歳から16歳の小児150名のLHAを調査し、被験者の95%が0度から7度の範囲にあったと報告している⁶⁾。本研究では78足中の33足(42.5%)がLHA7度以上であり、成長期アスリートでは過度の後足部外反が高率に存在することが明らかとなった。足部回内は足部・足関節の背屈、外旋、外返しによる複合運動であり、歩行や各種動作による筋骨格系への運動力学的な負荷に適応するため、過度の足部回内が生じる¹⁴⁾。本研究は比較的、活動レベルの高い成長期アスリートを対象として

おり、定期的なスポーツ活動によって足部への運動力学的な負荷が繰り返され、距骨下関節の過剰可動性を引き起こした結果、LHAに変化が生じたと推察された。

足部形態と歩行時の足底圧について、足圧中心の軌跡は正常足では踵外側から始まり、前足部で内側へ偏位して母趾に向かうが、扁平足では踵から母趾に直行する。扁平足は正常足や凹足と比較して母趾、第2趾、第2中足骨頭のピーク圧が高い^{15, 16)}、あるいは母趾で高く、第5中足骨頭で低いことが示されている¹⁷⁾。また成人のジョギング動作における足底内側の圧分布について、前足部アライメント、後足部アライメント(LHA)、Navicular dropのうち、LHAが最大圧力値、圧時間積分値に最も寄与していた¹⁸⁾。本研究では外反群の踵および中足骨頭領域のピーク圧は低く、母趾では高値であった。扁平足は正常足や凹足と比較して、足圧中心の速度は立脚後期で速く、前遊脚期で遅いことが報告されている¹⁹⁾。さらに扁平足ではウィンドラス機構の機能が低下していることから²⁰⁾、歩行時の推進力を産出するため代償的に前遊脚期の足圧中心速度が遅くなり、母趾のピーク圧が上昇していると推察された。外反群における立脚期の足部回内は、足部・足関節の背屈、外旋、外返しによる複合的な運動であるために踵接地角度と足関節背屈筋力が増加している可能性がある。また11歳から14歳における足底圧分布について、足趾のピーク圧は女児のほうが男児よりも高く、年齢とともに足趾と前足部のピーク圧は上昇することが報告されている²¹⁾。今回、正常群と外反群の男女比に有意差はなく、外反群のほうが低年齢であったことから、成長期アスリートの足底圧分布における後足部アライメントの重要性が示唆された。成長期年代における足部アライメントと歩行時の足底圧や歩行パラメータの関連については、これまでに報告がなく本研究により貴重な結果を提示できたと考えてい

る。足部アライメント異常や距骨下関節の過剰可動性はバランス機能の低下と関連する知見もあることから、今後は成長期年代の足部アライメントに注目したスポーツ傷害発生の前向き調査など、さらなる研究が必要である。

4. 結 論

成長期アスリートの足部アーチは発達段階にあるため、LHAに注目した足部アライメント評価が必要と考えられる。過度の後足部外反は足関節背屈筋力、歩行時の足底圧分布と踵接地角度に影響することが示唆された。

謝 辞

本研究に助成を賜りました、公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に感謝を申し上げます。

文 献

- 1) Conn J.M., Annett J.L., Bossarte R.M., Gilchrist J., Non-fatal sports and recreational violent injuries among children and teenagers, United States, 2001-2003., *J. Sci. Med. Sport.*, Dec;9 (6) :479-89(2006)
- 2) Mosca V.S., Flexible flatfoot in children and adolescents., *J. Child Orthop.*, Apr;4 (2) :107-21 (2010)
- 3) Sadeghi-Demneh E., Melvin J.M.A., Mickle K., Prevalence of pathological flatfoot in school-age children., *Foot (Edinb)* .Dec;37:38-44(2018)
- 4) Dodelin D., Tourny C., L'Hermette M., The biomechanical effects of pronated foot function on gait. An experimental study., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, Nov;30 (11) :2167-77(2020)
- 5) Mei-Dan O., Kahn G., Zeev A., Rubin A., Constantini N., Even A. et al., The medial longitudinal arch as a possible risk factor for ankle sprains: a prospective study in 83 female infantry recruits., *Foot Ankle Int.*, Feb;26 (2) :180-3(2005)
- 6) Sobel E., Levitz S., Caselli M., Brentnall Z., Tran M.Q., Natural history of the rearfoot angle: preliminary values in 150 children., *Foot Ankle Int.*, Feb;20 (2) :119-25(1999)

- 7) Angin S., Crofts G., Mickle K.J., Nester C.J., Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes planus., *Gait Posture.*, 40 (1) :48-52 (2014)
- 8) Putti A.B., Arnold G.P., Cochrane L., Abboud R.J., The Pedar in-shoe system: repeatability and normal pressure values., *Gait Posture.*, Mar;25 (3) :401-5 (2007)
- 9) Chuckpaiwong B., Nunley J.A., 2nd, Queen R.M., Correlation between static foot type measurements and clinical assessments., *Foot Ankle Int.*, Mar;30 (3) :205-12(2009)
- 10) Pfeiffer M., Kotz R., Ledl T., Hauser G., Sluga M., Prevalence of flat foot in preschool-aged children., *Pediatrics.*, Aug;118 (2) :634-9(2006)
- 11) Uden H., Scharfbillig R., Causby R., The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review., *J. Foot Ankle Res.*, 10:37(2017)
- 12) Roth S., Roth A., Jotanovic Z., Madarevic T., Navicular index for differentiation of flatfoot from normal foot., *Int. Orthop.*, Jun;37 (6) :1107-12 (2013)
- 13) Waseda A., Suda Y., Inokuchi S., Nishiwaki Y., Toyama Y., Standard growth of the foot arch in childhood and adolescence--derived from the measurement results of 10,155 children., *Foot Ankle Surg.*, Sep;20 (3) :208-14(2014)
- 14) Horwood A.M., Chockalingam N., Defining excessive, over, or hyper-pronation: A quandary., *Foot (Edinb)* . Jun;31:49-55(2017)
- 15) Hillstrom H.J., Song J., Kraszewski A.P., Hafer J.F., Mootanah R., Dufour A.B. et al., Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot., *Gait Posture.*, Mar;37 (3) :445-51(2013)
- 16) Rao S., Song J., Kraszewski A., Backus S., Ellis S.J., Deland J.T. et al., The effect of foot structure on 1st metatarsophalangeal joint flexibility and hallux loading., *Gait Posture.*, May;34 (1) :131-7(2011)
- 17) Buldt A.K., Forghany S., Landorf K.B., Levinger P., Murley G.S., Menz H.B., Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet., *Gait Posture.*, May;62:235-40(2018)
- 18) Lee S.Y., Hertel J., Effect of static foot alignment on plantar-pressure measures during running., *J. Sport Rehabil.*, May; (2) :137-43(2012)

- 19) Buldt A.K., Forghany S., Landorf K.B., Murley G.S., Levinger P., Menz H.B., Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet., *J. Foot Ankle Res.*, 11:3(2018)
- 20) Lucas R., Cornwall M., Influence of foot posture on the functioning of the windlass mechanism., *Foot (Edinb)* . Mar;30:38-42(2017)
- 21) Demirbuken I., Ozgul B., Timurtas E., Yurdalan S.U., Cekin M.D., Polat M.G., Gender and age impact on plantar pressure distribution in early adolescence., *Acta. Orthop. Traumatol. Turc.*, May;53(3) :215-20(2019)