

# 足関節内反捻挫の既往を有する 大学野球選手における足部アライメントと 動的バランスの関係

Relationship between foot and toe alignment and dynamic balance in college baseball players with previous ankle sprain

安田良子\*<sup>1,2</sup>, 栗原俊之\*<sup>3</sup>, 篠原靖司\*<sup>4</sup>, 伊坂忠夫\*<sup>4</sup>

キー・ワード : single-leg forward stepping, lateral ankle sprain, transverse arch in the forefoot  
前方への片足踏み込み動作, 足関節内反捻挫, 前足部横アーチ

【要旨】本研究は足関節内反捻挫(LAS)既往者と健常者で足部アライメント指標(FA)を比較し, FAが片足立位動作(立位条件)と前方への片足踏み込み動作(踏み込み条件)の両動作の重心不安定期および重心安定期の重心動揺へ与える影響を検討することを目的とした。

対象は硬式野球部に所属する男子大学生34名とし, 非投球側にLASの既往がある10名を捻挫群, 左右両下肢にLAS既往歴がない24名を健常群に分類した。FAは内側縦アーチ高率, 第1・第5趾側角, 前足部横アーチ指標として開張角と足幅/足長比を計測した。重心動揺指標はCOP軌跡速度, 重心動揺面積とした。

FAは, 捻挫群と健常群の両群間に有意な差はなかった。重心安定期の重心動揺は, 立位条件ではCOP軌跡速度(前後方向, Y方向)が捻挫群のほうが有意に低値を示し, 踏み込み条件ではCOP軌跡速度(内外側方向, X方向)が捻挫群のほうが有意に高値を示した。踏み込み条件は, 重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)と足幅/足長比との間に捻挫群で有意な正の相関関係があった。重心不安定期の立位条件ではCOP軌跡速度(X方向)が捻挫群のほうが有意に高値を示し, 踏み込み条件ではCOP軌跡速度(Y方向)が捻挫群で有意に低値を示した。FAと重心動揺指標との間には, 両群ともにいずれの条件においても有意な相関関係はなかった。

前足部横アーチ高は, 捻挫群のほうで前方への片足踏み込み動作の重心不安定期に影響を与えている可能性が示唆された。

## 1. 緒言

足関節内反捻挫(Lateral ankle sprain; 以下, LAS)はスポーツ活動において最も多く発生する外傷であり<sup>1)</sup>, LAS既往者では片足立位の安定性が低下したり<sup>2)</sup>, 足部アライメントに異常を呈す場合がある<sup>3)</sup>。LAS既往者の内側縦アーチは挙上ま

たは低下し, 後足部は外反または内反していると報告されている<sup>3)</sup>。一方で, LAS発生後には足部アライメントは変化しないといった報告もあり<sup>4)</sup>, コンセンサスが得られていないのが現状である。

健常者を対象とした足部アライメントと片足立位の安定性の関係に関する研究によると, 内側縦アーチ高は前後および内外側方向の足圧中心(Center of pressure(以下, COP))軌跡速度や変位量, 重心動揺面積と関連し<sup>5-7)</sup>, 特に内側縦アーチ高が過度に低下する場合<sup>6)</sup>や挙上する場合は<sup>5)</sup>, いずれにおいても片足立位時の重心動揺は不安定になると言われている。また, 外側縦アーチ高の変

\*1 立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科

\*2 武庫川女子大学健康・スポーツ科学部健康・スポーツ科学科

\*3 立命館大学総合科学技術研究機構

\*4 立命館大学スポーツ健康科学部

化量大きいほど内外側方向に不安定になり<sup>7)</sup>、足長および足幅においても内外側方向の重心動揺指標と関連性が認められている<sup>7)</sup>。さらに、前足部横アーチ高と前方への片足踏み込み動作の重心動揺には関連性があり、踏み込み動作時の内外側方向のCOP軌跡速度は前足部横アーチ高が低いほど大きくなると報告されている<sup>8)</sup>。前足部横アーチ高は重心安定化時間 (Time to Stabilization: 以下、TTS) と関連しており、前足部横アーチ高が低いほどTTSが遅いことも報告されている<sup>9)</sup>。これらの過去の報告を鑑みると、LASの既往がある症例においても足部アライメントが片足立位や前方への片足踏み込み動作の重心動揺に影響を与える可能性があるかと推測される。

先行研究における片足立位の安定性の評価には、片足立位の保持持続時間や失敗試技の回数を用いることが多いが、他にも前後および内外側方向への重心動揺指標 (COP軌跡長や幅、軌跡速度、動揺面積など) などが用いられ評価されている<sup>2)</sup>。野球やバドミントン競技などのスポーツ種目では、その場での片足立位だけではなく、例えば、前方へ大きく踏み込む動作があり、その際の前足には体重以上の負荷がかかるとされる<sup>10)</sup>。野球選手を対象にその場での片足立位や前方へ踏み込む動作の重心動揺を検討した報告において、前方へ踏み込む動作は前足部横アーチ高が低いほど不安定となり<sup>8)</sup>、投手では前足部横アーチ高が低いほどTTSが遅いとされる<sup>9)</sup>。しかしながら、これらの報告は健常者を対象とした報告であり、LASの既往による影響は検討されていない。前方へ踏み込む動作を繰り返す選手のLASによる二次障害を予防するためには、片足立位に加えて、踏み込み動作での重心動揺を検討する必要があると考えた。

前方への片足踏み込み動作後の重心動揺と足部アライメントとの関係を検討した報告では、足部接地直後のCOP軌跡速度と足部アライメント指標との関係はなかったが、時間が経過した後のCOP軌跡速度では前足部横アーチ高と関係し<sup>8)</sup>、足部アライメント指標が重心動揺へ与える影響は時間の経過に伴い異なると推測される。台からの片足跳び降り動作における重心動揺について検討した先行研究によると、台からの落下による負荷は足部接地直後に影響するが、時間が経過するとともにその影響が消失することが報告されている<sup>8)</sup>。片足ドロップジャンプ動作において、着地直

後からの重心動揺には個人のバランス能力が反映するとされる<sup>11)</sup>が、着地後20~200ミリ秒区間の平均COP軌跡速度やCOP軌跡長は着地前の準備動作も影響するとされる<sup>12)</sup>。LAS既往者においても健常者同様に足部アライメントが重心動揺に与える影響が動作直後 (重心不安定期) と時間が経過した後 (重心安定期) で異なる可能性が考えられるが、先行研究はなく、不明な点が多い。したがって、動作後の重心動揺を検討する際には、重心が安定するまでの期間 (重心不安定期) と重心が安定した後の期間 (重心安定期) に分けて、検討することが必要である。

そこで、本研究ではLAS既往者と健常者で足部アライメント指標を比較し、片足立位動作と前方への片足踏み込み動作の重心動揺を重心不安定期と重心安定期に分けて足部アライメントが重心動揺へ与える影響を検討することを目的とした。

## 2. 対象および方法

### 1. 対象

対象は、硬式野球部に所属する男子大学生64名とした。対象者の選定理由は前方への片足踏み込み動作を多用し、対人との非接触型の競技であることであった。対象者のうち30名は計測当時に左右両下肢にLAS以外の既往歴や疼痛があったことから除外し、34名が選別された。これら34名を中学生以降に非投球側の足関節を受傷し、医師によりLASの診断を受けた経験がある10名 (捻挫群: 年齢 $20.3 \pm 0.9$ 歳, 平均値 $\pm$ 標準偏差) と左右両下肢にLAS既往歴がない24名 (健常群: 年齢 $19.5 \pm 1.0$ 歳, 平均値 $\pm$ 標準偏差) に分類し、比較検討した。なお、捻挫群におけるLASの受傷回数は9名が1回、1名は2回であり、全対象者において視力障害や神経性障害を呈する者は存在しなかった。

本研究はヘルシンキ宣言および個人情報保護法、人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針に基づき、対象者に研究の目的や意義、計測内容、計測により起こり得る危険性や計測開始後においても対象者の意思で計測を回避できること、個人情報などを事前に口頭にて説明し、全対象者の同意を得た後、計測を実施した。

### 2. 方法

足部アライメント評価には、内側縦アーチ高率、

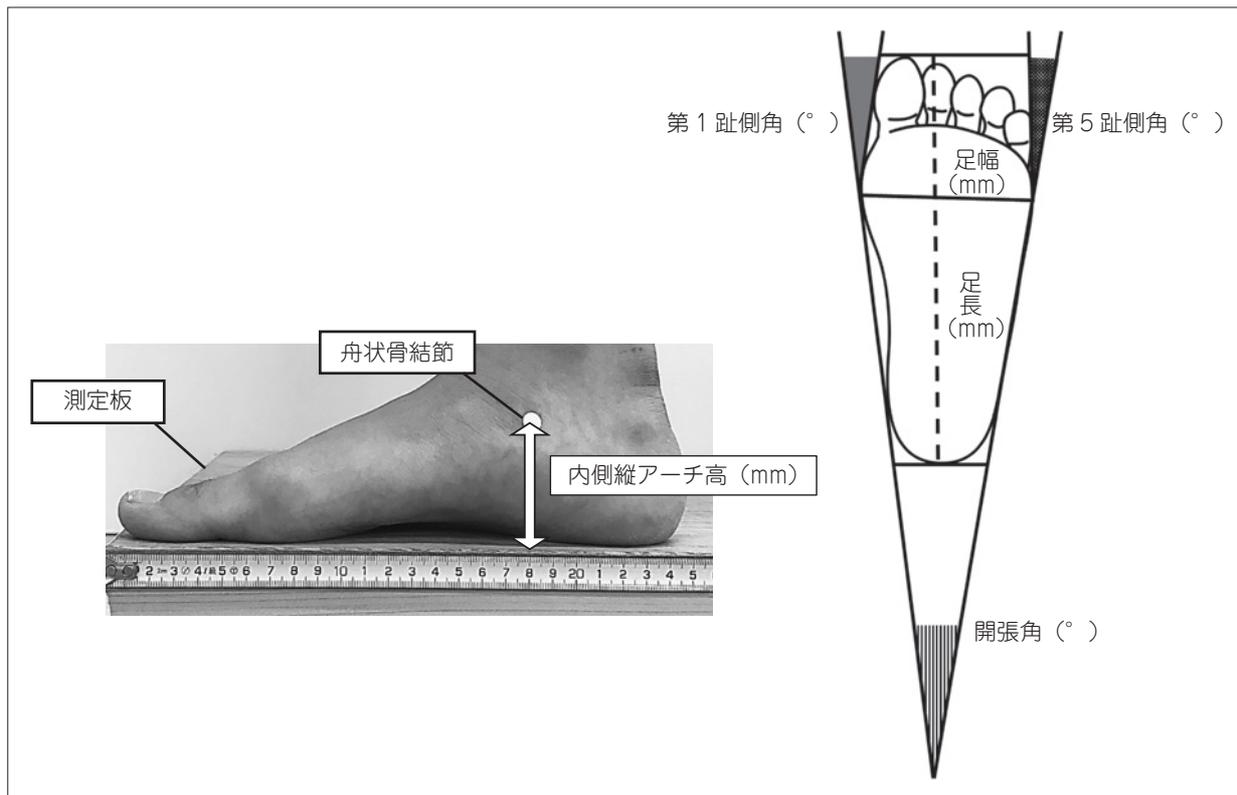


図1 内側縦アーチ高および足趾角，開張角，足長，足幅の定義  
 内側縦アーチ高は，舟状骨結節から測定板までの垂直距離を計測した。  
 足幅/足長比は，足幅/足長×100にて算出した。

足趾角(第1趾側角および第5趾側角)，前足部横アーチの評価として開張角および足幅/足長比を計測した。

内側縦アーチ高および足趾角，開張角，足長，足幅の定義を図1に示す。内側縦アーチ高の計測は，舟状骨結節から測定板までの垂直距離を計測した。内側縦アーチ高率は，舟状骨結節から測定板までの垂直距離を足長で除した値の百分率で算出した<sup>13)</sup>。計測時の最小単位は1mmとした。

足趾角および開張角，足幅，足長はA4サイズの用紙上に対象者の足を片足ずつ乗せ，直径約2mmのペンで足部外側縁をトレースすることにより計測した。計測時には，肩幅に両足を開いた状態で両足均等荷重立位姿勢をとるように指示した。足趾角の計測は第1中足骨頭と第1基節骨頭を結ぶ線および第1中足骨頭と内果後方を結ぶ線のなす角度を第1趾側角，第5中足骨頭と第5基節骨頭を結ぶ線および第5中足骨頭と外果後方を結ぶ線のなす角度を第5趾側角とした。開張角は，第1中足骨頭と内果後方を結ぶ線および第5中足骨頭と外果後方を結ぶ線のなす角度とした。足幅およ

び足長の計測は，第1中足骨頭と第5中足骨頭を結ぶ線を足幅，踵先端から最も長い足趾先端を結んだ線を足長とし，足幅/足長比は足幅を足長で除した値の百分率で算出した<sup>14)</sup>。

重心動揺の評価には足底圧分布計 (Zebris FDM, インターリハ社製) を用い，サンプリング周波数は240Hzで計測した。重心動揺指標は重心安定化時間(TTS), COP軌跡速度および重心動揺面積を算出した。解析方法は安田ら<sup>8)</sup>の報告に従い，TTSを算出し，TTSまでの期間(重心不安定期)とTTS以降(重心安定期)に分類し，重心動揺面積については重心安定期のみを検討した。TTSは，片足立位動作の開始から重心動揺が安定するまでに要した時間と定義した。まず，片足立位保持中のCOP変位をX方向およびY方向に分け，それぞれの方向での平均値と標準偏差を順次算出し，COP変位がX方向およびY方向ともに連続して平均値±1標準偏差に含まれる場合に安定していると判断した。なお，重心安定期については，TTSから3秒後まで0.5秒刻みに解析区間を増やし，TTSからその時間までの平均COP

表 1 体格および足部アライメント指標に対する両群の比較

	捻挫群 (n=10)	健常群 (n=24)	群間	効果量 (r)
<b>体格指標</b>				
身長 (cm)	176.2±4.0	176.4±6.2	n.s.	0.01
体重 (kg)	75.3±6.4	75.4±8.2	n.s.	0.01
足長 (mm)	259.0±6.7	259.2±10.2	n.s.	0.01
足幅 (mm)	103.5±5.4	105.5±5.6	n.s.	0.19
<b>足部アライメント指標</b>				
足幅/足長比 (%)	40.0±1.8	40.8±1.7	n.s.	0.23
開張角 (°)	15.5±2.6	16.2±2.4	n.s.	0.02
内側縦アーチ高率 (%)	14.2±2.8	14.8±2.0	n.s.	0.13
第1趾側角 (°)	12.7±6.4	14.3±5.2	n.s.	0.13
第5趾側角 (°)	18.3±5.7	18.1±3.5	n.s.	0.02

軌跡速度と重心動揺面積を計算した。X方向は足圧板の長軸方向(左足の外側から内側方向)、Y方向は足圧板の短軸方向(左足の踵から趾先方向)と定義した。

重心安定期における足部アライメント指標と各条件における重心動揺指標との相関関係については、TTS以降3秒間における重心動揺指標の平均値を用いて行った。

運動課題は両足立位からその場での片足立位保持を立位条件、前方への片足踏み込み動作後の片足立位保持を踏み込み条件と設定した。立位条件は、まず、足底圧分布計の上で両足立位姿勢を取らせ、両手を胸の前に握らせた後、計測者の合図とともに片足を挙上して出来る限り早く姿勢を安定させるように指示した。片足での立位保持は15秒間とした。踏み込み条件<sup>9)</sup>では足底圧分布計の外で両足立位姿勢をとり、計測者の合図によりキャッチボール動作をイメージしながら、普段キャッチボールをしているスタンス幅の位置に設置した足底圧分布計に足を踏み込ませた。踏み込み動作と同時に非踏み込み足は浮かせ、踏み込み足のみ荷重した姿勢を10秒間保持し、両上肢を下垂位にて測定した。踏み込み条件の運動課題は前方へ踏み込んだ場合の動態を比較することを意図したため、通常のキャッチボール動作での踏み込み足のみ測定を行った。いずれの運動課題においても開眼および裸足で実施し、足底圧分布計から前方3m、床面から高さ1.7mに位置した×印を見ながら運動課題を遂行するよう指示した。×印は重心動揺指標に対する視線の影響を統一するため前方3m、高さ1.7mに設定した。いずれの運動課題においても3試技ずつ行い、平均値を記録と

して採用した。各試技の順番は対象者毎にランダムとし、全評価項目の計測は全て同一検者が実施した。

統計解析はSPSS (バージョン25.0, IBM社製)を用い、まず、Shapiro-Wilk検定を行い、正規分布に従うか否かを確認した後、以降の検定を実施した。足部アライメント指標と各条件におけるTTSおよび重心不安定期のCOP軌跡速度(X・Y方向)の2群間の比較には、正規分布に従うデータを対応のないt検定、正規分布に従わないデータをMann-Whitney検定によって行った。各条件における重心安定期のCOP軌跡速度(X・Y方向)および重心動揺面積の比較には、2元配置分散分析(群間×時間)によって行った。その後の検定については、Bonferroniを用いた。捻挫群および健常群の足部アライメント指標と各条件における重心動揺指標との関連性については、正規分布に従うデータをPearsonの積率相関係数、正規分布に従わないデータをSpearmanの順位相関係数によって行った。有意水準は、いずれにおいても5%を有意差ありと判定した。

### 3. 結果

体格および足部アライメント指標に対する両群の比較を表1に示す。体格および足部アライメント指標のいずれの項目においても捻挫群と健常群との間に有意な差はなかった。

各条件における重心安定化時間と重心不安定期のCOP軌跡速度(XおよびY方向)の両群の比較を表2に示す。重心安定化時間は、いずれの条件においても両群間に有意な差はなかった。COP軌跡速度(X方向)において、立位条件では捻挫

表2 各条件における重心安定化時間と重心不安定期の COP 軌跡速度 (X および Y 方向) の両群の比較

指標	条件	捻挫群 (n=10)	健常群 (n=24)	群間	効果量 (r)
重心安定化時間 (sec)	立位条件	4.38 ± 1.61	3.79 ± 1.63	n.s.	0.25
	踏み込み条件	2.29 ± 1.13	2.66 ± 1.07	n.s.	0.22
重心不安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) (cm/sec)	立位条件	28.46 ± 3.65	24.24 ± 5.68	*p = 0.038	0.36
	踏み込み条件	28.24 ± 3.94	30.08 ± 4.07	n.s.	0.21
重心不安定期の COP 軌跡速度 (Y 方向) (cm/sec)	立位条件	16.12 ± 3.66	13.95 ± 4.05	n.s.	0.25
	踏み込み条件	25.95 ± 3.86	30.36 ± 6.08	*p = 0.043	0.35

※立位条件：片足立位, 踏み込み条件：前方への片足踏み込み

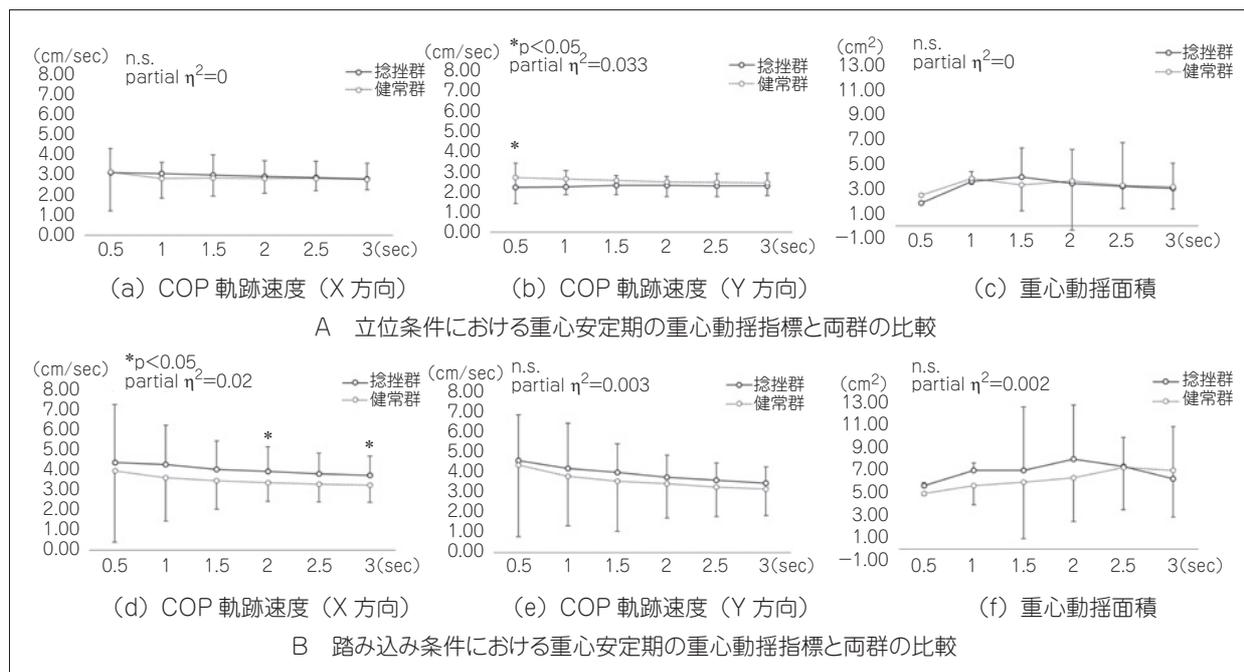


図 2

A および B はいずれも重心安定期における重心動揺を示し、重心安定化時間以降を 0.5 秒間隔で区切った 3 秒間までの期間を示す。実線は捻挫群、点線は健常群を示す。A は片足立位条件の重心動揺を示し、B は前方への片足踏み込み条件の重心動揺を示す。

(a), (d) は COP 軌跡内外側方向速度を示し、(b), (e) は COP 軌跡前後方向速度を示す。(c), (f) は重心動揺面積を示す。

(a) ~ (f) における横軸は重心安定化時間後の経過時間 (秒) を示す。

群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.36$ ) が踏み込み条件では両群間に有意な差はなかった。COP 軌跡速度 (Y 方向) において、立位条件では両群間に有意な差はなかったが、踏み込み条件では健常群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.35$ )。

立位条件における重心安定期の重心動揺指標と両群の比較を図 2A に示す。全ての指標において有意な交互作用はなく、経過時間の主効果があった ( $p < 0.05$ )。COP 軌跡速度 (Y 方向) においては群間の主効果があり、TTS から 0.5 秒経過時に

捻挫群のほうが有意に低値を示した ( $p < 0.05$ , partial  $\eta^2 = 0.033$ )。COP 軌跡速度 (X 方向) および重心動揺面積においては、両群間に有意な差はなかった。踏み込み条件における重心安定期の重心動揺指標と両群の比較を図 2B に示す。全ての指標において有意な交互作用はなく、経過時間の主効果があった ( $p < 0.01$ )。COP 軌跡速度 (X 方向) においては群間の主効果があり、TTS から 2 秒および 3 秒経過時に捻挫群のほうが有意に高値を示した ( $p < 0.05$ , partial  $\eta^2 = 0.02$ )。COP 軌跡速度 (Y 方向) および重心動揺面積においては、両群間に

表3 両群の足部アライメント指標と重心安定化時間、重心動揺指標との相関係数

捻挫群 (n=10)	足幅/ 足長比	開張角	内側縦アーチ高率	第1趾側角	第5趾側角
<b>立位条件</b>					
重心安定化時間	0.261	-0.056	-0.027	-0.153	0.409
重心不安定期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.002	-0.068	0.341	-0.359	0.179
重心不安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.012	-0.280	0.106	-0.017	0.299
重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.036	0.205	0.824*	-0.311	-0.034
重心安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	-0.390	-0.242	0.500	-0.128	0.137
重心安定期の重心動揺面積	0.345	0.777*	0.588	-0.468	-0.116
<b>踏み込み条件</b>					
重心安定化時間	-0.588	-0.354	-0.164	-0.195	0.091
重心不安定期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.547	-0.404	0.096	-0.354	0.482
重心不安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	-0.534	-0.168	0.089	-0.233	0.153
重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.704*	0.478	-0.059	0.324	-0.332
重心安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.261	0.168	-0.079	0.043	0.255
重心安定期の重心動揺面積	0.374	0.155	-0.064	-0.095	-0.005

健常群 (n=24)	足幅/ 足長比	開張角	内側縦アーチ高率	第1趾側角	第5趾側角
<b>立位条件</b>					
重心安定化時間	0.015	-0.141	-0.072	0.141	0.053
重心不安定期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.031	0.031	-0.151	0.107	0.057
重心不安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.126	-0.044	-0.130	0.358	0.005
重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.039	0.025	0.353	0.009	0.028
重心安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.228	0.200	0.063	0.085	0.185
重心安定期の重心動揺面積	0.233	0.162	0.294	0.192	0.010
<b>踏み込み条件</b>					
重心安定化時間	0.017	-0.029	0.010	-0.328	-0.004
重心不安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.025	0.258	0.081	-0.336	0.165
重心不安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	-0.083	0.254	-0.124	-0.086	0.118
重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.222	0.074	-0.079	0.185	0.107
重心安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.087	-0.075	0.153	0.272	0.010
重心安定期の重心動揺面積	-0.042	-0.174	0.278	0.186	0.000

有意な差はなかった。

両群の足部アライメント指標と重心安定化時間、重心動揺指標との相関係数を表3に示す。捻挫群において、立位条件では内側縦アーチ高率と重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)との間に有意な正の相関関係があった( $r = 0.824, p < 0.01$ )。重心安定期の重心動揺面積は、開張角との間に有意な正の相関関係があった( $r = 0.777, p < 0.01$ )。踏み込み条件では、足幅/足長比と重心安定期のCOP軌跡速度(X方向)との間に有意な正の相関関係があった( $r = 0.704, p < 0.05$ )。その他の項目においては、いずれにおいても足部アライメント指標と重心動揺指標との間に有意な相関関係はなかった。

健常群においては、いずれの条件においても足部アライメント指標と重心動揺指標との間に有意

な相関関係はなかった。

#### 4. 考察

本研究では足部アライメント指標には両群間に有意な差はなかったが、重心安定期における重心動揺は前方への片足踏み込み(踏み込み条件)では捻挫群でX方向に不安定な結果を示し、重心安定期のX方向のCOP軌跡速度と足幅/足長比との間に有意な正の相関関係があった。片足立位(立位条件)では、Y方向のCOP軌跡速度が捻挫群で安定している結果を示した。一方、X方向のCOP軌跡速度は捻挫群のほうで内側縦アーチ高率との間に有意な正の相関関係にあり、重心動揺面積では開張角との間に有意な正の相関関係があった。重心不安定期においては、両群ともにいずれの条件においても足部アライメント指標と重心動揺指

標との間に有意な相関関係はなかった。

前方への片足踏み込み課題（踏み込み条件）後の重心安定期における重心動揺において、COP軌跡速度（X方向）は捻挫群のほうがTTS以降2秒および3秒で有意に高値を示し、TTS以降3秒経過しても不安定であるという結果を示した。足部アライメント指標と重心動揺指標との関係において、足部アライメント指標では両群間に有意な差はなかったが、捻挫群のほうでCOP軌跡速度（X方向）と足幅/足長比との間に有意な正の相関関係があった。しかしながら、足幅/足長比は両群間に有意な差がなかったことから、捻挫群の前足部横アーチは保持されていたと考えられる。これらの結果から、捻挫群では個人の足幅/足長比が大きくなる（すなわち前足部横アーチ高が低下する）<sup>14</sup>場合において、前方への片足踏み込み動作が不安定であることが示された。前足部横アーチには第1中足骨～第5中足骨が位置し、母趾内外転筋や底背側骨間筋などの内在筋が足部剛性に貢献し、横アーチの安定性を保持している。足趾機能において、母趾は偏位した身体重心を支持し、第2～第5趾は偏位した身体重心を中心に戻すとされる<sup>15</sup>。一般的に、歩行時におけるCOPの軌跡は、立脚期に中足部外側から前足部中央に移動する。しかしながら、LAS既往者の歩行動作では、立脚期において第1中足骨が内反方向へ変位し<sup>16</sup>、COPにおいては外側へ変位する<sup>17</sup>と報告されている。本研究で行った前方への片足踏み込み課題は歩行動作と同様に前方へ重心が移動する課題であり、捻挫群では踏み込み条件の片足立位時にCOPがより前足部外側に位置していたと推測される。したがって、COPが外側に偏位した状態で片足立位を保持した場合に、前足部横アーチが低下するほど不安定となる可能性が考えられた。足趾には多数のメカノレセプターが存在し、LAS既往者では神経固有感覚機能が低下している可能性<sup>18</sup>が推測される。本研究では足趾機能や足趾の神経固有感覚機能に対する評価は行っていないが、LAS既往者では足趾機能や神経固有感覚機能が低下し、前足部横アーチ高の変化は現れないが、前足部横アーチを保持する機能が低下したと推測される。加えて、LAS既往者は足関節位置覚の減少、求心性の外反筋力および遠心性の内反筋力が低下、長腓骨筋の筋反応時間が低下すると報告されている<sup>18</sup>。これらはいずれも内外側方向の重心

動揺へ影響を与えると推測されることから、前足部横アーチ以外の要因も重心動揺に影響を与えた可能性があり、今後検討が必要である。

前方への片足踏み込み課題（踏み込み条件）後の重心安定期における重心動揺指標と内側縦アーチ高率の間には、有意な相関関係がなかった。歩行動作において、LAS既往者は立脚期において距骨下関節の内反および外側偏位の増大<sup>19</sup>が確認されている。距骨下関節が内反すると内側縦アーチも拳上することから、前方への片足踏み込み動作においても相関関係があると考えられたが、内側縦アーチ高率は両群間に有意な差がなく、重心動揺指標との相関関係もなかった。今回の結果から、前方への片足踏み込み動作における内側縦アーチ高率が重心動揺に与える影響については、明確にできない。

片足立位課題（立位条件）後の重心安定期におけるCOP軌跡速度（Y方向）は捻挫群のほうが有意に低値を示し、捻挫群のほうが安定している結果となった。足部アライメント指標と重心動揺指標との関係では、COP軌跡速度（Y方向）と足部アライメント指標との間に有意な相関関係がなかった。先行研究において、片足立位の安定性は体幹筋群の筋活動量<sup>20</sup>との関連性が報告されている。本研究において、COP軌跡速度（Y方向）と足部アライメント指標との関連性がなかったことから、他の要因が影響した可能性が考えられる。

一方、COP軌跡速度（X方向）については、捻挫群のほうで内側縦アーチ高率との間に有意な正の相関関係にあり、重心動揺面積と開張角との間においても有意な正の相関関係があった。LAS既往者では足関節内反方向への関節位置覚および遠心性の内反筋力の低下、長腓骨筋活動量の減少が確認されている<sup>18</sup>。内側縦アーチの保持には長腓骨筋が関与し、これらの筋機能が低下すると荷重時に外側方向に変位する<sup>18</sup>。本研究において、LAS既往による内側縦アーチ高への影響はなかったが、立位条件において内側縦アーチ高率とCOP軌跡速度（X方向）との間に関係性があったことは、動作時において内側縦アーチを保持する機能が低下し、外側方向へ変位していた可能性が推察される。加えて、関節位置覚は、LAS既往者のほうが遅い動作で顕著に低下するとされる<sup>21</sup>。立位条件は踏み込み条件と比べて内外側方向への動揺速度が遅いことから、内側縦アーチ高率と相

関関係があったと考えられた。重心動揺面積と開張角との間に有意な正の相関関係があったことは、足趾の神経固有感覚や足部内在筋の機能が低下し<sup>18)</sup>、前足部横アーチを保持する機能が低下した可能性が考えられることから関係性があったと推測された。

重心不安定期においては、LAS 既往の有無に関わらずいずれの条件においても足部アライメント指標と重心動揺指標との間に有意な相関関係はなかった。片足着地など身体重心の移動量が大きい場合には、着地後の足関節にかかる衝撃を予測し、体幹部や下肢三関節を屈曲する動作や下肢筋活動<sup>22)</sup>が着地前から生じると報告されている。さらに加えて、LAS 既往者では着地前には足関節底屈角が減少すると報告されている<sup>23)</sup>。立位条件の片足立位課題は内外側方向への移動直後、踏み込み条件の前方への片足踏み込み課題は前方への移動直後となり、重心不安定期での片足立位保持と比べて、身体重心の移動量が大きい。いずれの条件においても動作開始から片足立位を保持するまでに、体幹部や下肢三関節の動作が生じることで姿勢を制御したことから、急性期では足部アライメント指標との相関関係がなかったと推測された。

本研究の限界として、実験では足趾機能や距骨下関節のアライメント、足部接地前および片足立位保持中の下肢関節動作、動作中の足部アライメント変化に対する評価を行うことができなかったことから、これらの影響については今後の検討を要する。さらに、先行研究と比べてLAS 既往者数が少ないことや<sup>24)</sup>捻挫群を慢性足関節不安定症およびCoperに着目して分類することができなかったことから、これらを踏まえて再度検討する必要がある。

## 5. 結語

本研究は硬式野球部に所属する男子大学生 34 名を対象に、LAS 既往者におけるその場での片足立位動作と前方への片足踏み込み動作の重心不安定期と重心不安定期の重心動揺指標を評価し、足部アライメント指標との関係を検討した。LAS 既往者におけるその場での片足立位動作と前方への片足踏み込み動作の重心動揺は、重心不安定期に足部アライメントが影響を与えている可能性が示唆された。LAS の既往を有する野球選手の内側縦アーチ高や前足部横アーチ高が低下した場合には、こ

れらを改善することが片足立位の安定性獲得につながり、二次障害を予防する一助となることが期待された。

## 利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

## 文 献

- 1) Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, et al. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med.* 2014; 44: 123-140.
- 2) Grassi A, Alexiou K, Amendola A, et al. Postural stability deficit could predict ankle sprains: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 26: 3140-3155.
- 3) Morrison KE, Kaminski TW. Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *J Athl Train.* 2007; 42: 135-142.
- 4) Lopezosa-Reca E, Gijon-Nogueron G, Morales-Asencio JM, et al. Is there any association between foot posture and lower limb-related injuries in professional male basketball players? a cross-sectional study. *Clin J Sport Med.* 2020; 30: 46-51.
- 5) Hertel J, Gay MR, Denegar CR. Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. *J Athl Train.* 2002; 37: 129-132.
- 6) Kim JA, Lim OB, Yi CH. Difference in static and dynamic stability between flexible flatfeet and neutral feet. *Gait Posture.* 2015; 41: 546-550.
- 7) Mun KR, Chun S, Hong J, et al. The relationship between foot feature parameters and postural stability in healthy subjects. *Hum Factors.* 2019; 61: 1077-1085.
- 8) 安田良子, 栗原俊之, 篠原靖司, 他. 異なる負荷の片足踏み込み動作による重心動揺指標と足部アライメントとの関係—大学野球選手を対象として—. *理学療法科学.* 2022; 37: 77-86.
- 9) 安田良子, 栗原俊之, 篠原靖司, 他. 大学野球選手の足部静的アライメントと動的バランスの関係. *理学療法科学.* 2021; 36: 345-352.
- 10) MacWilliams BA, Choi T, Perezous MK, et al. Characteristic ground-reaction forces in baseball pitch-

- ing. *Am J Sports Med.* 1998; 26: 66-71.
- 11) 杉山恭二, 木村佳記, 高木啓至, 他. 動的バランス評価方法の検討: 片脚 drop jump 着地動作における重心動揺総軌跡長の再現性と有用性. *関西臨床スポーツ医・科学研究会誌.* 2011; 21: 33-36.
  - 12) 小笠原一生, 木村佳記, 佐藤陸美, 他. 新規な動的バランス評価指標の開発とその個人特異性に関する研究. *臨床バイオメカニクス.* 2016; 37: 311-317.
  - 13) 大久保衛, 島津 晃, 上野憲司. メディカルチェックにおける足アーチ高測定方法の検討. *臨床スポーツ医学.* 1989; 6: 336-339.
  - 14) 清水新悟, 長井 力, 元田英一, 他. 開張率と開張角の信頼性と開張足の診断基準値と障害予防の検討. *スポーツ産業研究.* 2013; 23: 11-17.
  - 15) 加辺憲人, 黒澤和生, 西田裕介, 他. 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. *理学療法科学.* 2002; 17: 199-204.
  - 16) Ridder RD, Willems T, Vanrenterghem J, et al. Gait kinematics of subjects with ankle instability using a multisegmented foot model. *Med Sci Sports Exerc.* 2013; 45: 2129-2136.
  - 17) Moisan G, Descarreaux M, Cantin V. Effects of chronic ankle instability on kinetics, kinematics and muscle activity during walking and running: A systematic review. *Gait Posture.* 2017; 52: 381-399.
  - 18) 越野裕太, 谷口達也, 三木貴弘. 機能障害別マネジメント. In: 片寄正樹(監). *足部・足関節 理学療法マネジメント 機能障害の原因を探るための臨床思考を紐解く.* 第1版. 東京: メジカルビュー; 88-90, 135, 2018.
  - 19) Cao S, Wang C, Zhang G, et al. In vivo kinematics of functional ankle instability patients during the stance phase of walking. *Gait Posture.* 2019; 73: 262-268.
  - 20) 鈴木 哲, 平田淳也, 栗木鮎美, 他. 片脚立位時の体幹筋活動と重心動揺との関係. *理学療法学.* 2009; 24: 103-107.
  - 21) McKeon JMM, McKeon PO. Evaluation of joint position recognition measurement variables associated with chronic ankle instability: a meta-analysis. *J Athl Train.* 2012; 47: 444-456.
  - 22) Santello M. Review of motor control mechanisms underlying impact absorption from falls. *Gait Posture.* 2005; 21: 85-94.
  - 23) Allet L, Zumstein F, Eichelberger P, et al. Neuromuscular control mechanisms during single-leg jump landing in subacute ankle sprain patients: a case control study. *PM R.* 2017; 9: 241-250.
  - 24) Shahi P, Selk Ghaffari M, Mansournia M, et al. Risk factors influencing the incidence of ankle sprain among elite football and basketball players: a prospective study. 2020.

---

(受付: 2022年1月13日, 受理: 2022年5月15日)

## Relationship between foot and toe alignment and dynamic balance in college baseball players with previous ankle sprain

Yasuda, R.<sup>\*1,2</sup>, Kurihara, T.<sup>\*3</sup>, Shinohara, Y.<sup>\*4</sup>, Isaka, T.<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

<sup>\*2</sup> Department of Health and Sports Science, Mukogawa Women's University

<sup>\*3</sup> Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

<sup>\*4</sup> College of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

**Key words:** single-leg forward stepping, lateral ankle sprain, transverse arch in the forefoot

**[Abstract]** Foot alignment (FA) indices were compared between subjects with and without a history of lateral ankle sprain (LAS). FA during the unstable and stable phases of single-leg standing (standing condition, SDC) and single-leg forward stepping (stepping condition, SPC) were evaluated.

Thirty-four male college baseball players were enrolled: 10 participants with a history of LAS on the nonthrowing side (LAS) and 24 participants without a history of LAS of either lower limb (controls).

There were no significant between-group differences in FA. In the stable phase, COP velocity (Y-direction) was significantly lower in the LAS group in SDC, and COP velocity (X-direction) was significantly higher in the LAS group in SPC. In SPC, there was a significant positive correlation between COP velocity (X-direction) and foot width/foot length ratio during the stable phase in the LAS group. During the unstable phase, COP velocity (X-direction) was significantly higher in the LAS group under SDC, and COP velocity (Y-direction) was significantly lower in the LAS group under SPC. There was no significant correlation between FA and sway indices for either condition.

The forefoot transverse arch height might be affected during the stable phase of single-leg forward stepping in the LAS group.