

# 博士論文

前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の  
重心動揺評価と足部アライメントおよび  
足関節外傷・障害との関係

— 大学野球選手を対象として —

(Evaluation of center of pressure indices  
in single-leg forward stepping and their relationship  
with foot alignment and ankle injury  
in college baseball players)

2022 年 9 月

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科  
スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

安田 良子

立命館大学審査博士論文

前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の重心動  
揺評価と足部アライメントおよび足関節外傷・  
障害との関係－大学野球選手を対象として－

(Evaluation of center of pressure indices  
in single-leg forward stepping and their relationship  
with foot alignment and ankle injury  
in college baseball players)

2022 年 9 月

September 2022

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

Doctoral Program in Sports and Health Science

Graduate School of Sports and Health Science

Ritsumeikan University

安田 良子

YASUDA Ryoko

研究指導教員：伊坂 忠夫教授

Supervisor: Professor ISAKA Tadao

## 目次

副論文一覧

用語の定義

略語一覧

序 .....	1
第1章 緒論 .....	4
1-1. スポーツ選手における片脚立位動作と重心動揺 .....	4
1-1-1. 競技パフォーマンスと片脚立位動作の安定性との関係 .....	4
1-1-2. 片脚立位動作の安定性にスポーツ外傷・障害が与える影響 .....	8
1-2. 片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係 .....	22
1-3. 片脚立位動作の安定性にトレーニング習慣が与える影響 .....	27
1-4. 問題提起 .....	30
1-5. 本研究の目的と意義, 概略 .....	38
1-5-1. 目的 .....	38
1-5-2. 意義 .....	38
1-5-3. 本研究の構成 .....	39
第2章 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係 (研究課題Ⅰ) .....	42
2-1. はじめに .....	42
2-2. 方法 .....	45
2-3. 結果 .....	56
2-4. 考察 .....	64
2-5. 小括 .....	67
第3章 野球選手の投球習慣が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に 与える影響(研究課題Ⅱ) .....	68
3-1. はじめに .....	68
3-2. 方法 .....	70
3-3. 結果 .....	73

3-4. 考察 .....	77
3-5. 小括 .....	82
第4章 LASの既往が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に 与える影響(研究課題Ⅲ) .....	83
4-1. はじめに .....	83
4-2. 方法 .....	85
4-3. 結果 .....	87
4-4. 考察 .....	94
4-5. 小括 .....	99
第5章 総括論議 .....	101
5-1. 片脚立位動作の急性期と安定期の重心動揺に与える影響と足部アライメントとの関係 .....	103
5-2. 投球習慣やLASの既往による適応が前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と 足部アライメントとの関係に与える影響 .....	107
5-3. 今後の課題 .....	111
第6章 結論 .....	112
参考文献 .....	114
謝辞 .....	135

## 副論文一覧

本博士論文は、下記副論文をもとに作成したものである。

### 【第2章（研究課題Ⅰ）】

安田良子，栗原俊之，篠原靖司，伊坂忠夫：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，37(1)，77-86，2022.

### 【第3章（研究課題Ⅱ）】

安田良子，栗原俊之，篠原靖司，伊坂忠夫：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，36(3)，345-352，2021.

### 【第4章（研究課題Ⅲ）】

安田良子，栗原俊之，篠原靖司，伊坂忠夫：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，日本臨床スポーツ医学会誌，30(3)，ページ数未定，2022.

## 用語の定義

### 足部アライメント

足部アライメントとは足部のアーチおよび足趾を形成する骨配列を表し、足部アーチを構成するアライメントを内側縦アーチ、外側縦アーチ、横アーチの3つで定義した。また、横アーチは、中足部および前足部に位置するアーチとした。本研究では内側縦アーチを内側縦アーチ高率で、横アーチを開張角と足幅/足長比で評価し、また、足趾アライメントを足趾角で評価することとした。

### 内側縦アーチ高率

足部に存在するアーチの中で最も大きく、低下量が大きいのが内側縦アーチである。内側縦アーチは中足骨と内側楔状骨、舟状骨、踵骨で形成され、これが極端に低下すると扁平足（低アーチ）と言われ、極端に高い場合はハイアーチと言われる。本研究では内側縦アーチの高さの評価として内側縦アーチ高率を採用し、内側縦アーチ高率は、舟状骨結節の床面からの高さを足長（趾先～踵遠位部までの距離）で除した値の百分率とした。先行研究ではスポーツ選手の平均値は男性で18～19%、女性で16%とされている（中尾他, 2017）。

### 足趾角

足趾角とは足趾の角度を表し、極端に外反した第1趾や内反した第5趾は足部変形によく現れ、一般的にも外反母趾や内反小趾として知られている。本研究では足趾角として第1および第5趾側角を測定した。第1趾側角は第1中足骨の頭部外側と第1基節骨の頭部外側を結ぶ線および第1中足骨の頭部外側と内果後方を結ぶ線のなす角度とし、第5趾側角は第5中足骨の頭部外側と第5基節骨の頭部外側を結ぶ線および外果後方を結ぶ線のなす角度とした。先行研究では16度以上外反した第1趾を外反母趾、12度以上内反した第5趾を内反小趾としている（清水他, 2010）。

## 開張角

開張角は、横アーチを表す指標であるとされる。横アーチは内側・中間・外側楔状骨と立方骨で形成される中足部と、第 1~5 中足骨頭で形成される前足部に分類され、開張角は中足部および前足部横アーチが反映されている。本研究では、開張角を第 1 中足骨の頭部外側と内果後方を結ぶ線および第 5 中足骨の頭部外側と外果後方を結ぶ線のなす角度と定義した。開張角が 15 度以上の場合は、開張足の可能性が指摘されている（清水他, 2010）。

## 足幅/足長比

足幅/足長比は横アーチを表し、特に前足部横アーチを反映している指標であるとされる。本研究では、第 1 中足骨の頭部外側と第 5 中足骨の頭部外側を結んだ距離（足幅）を踵の中央から第 1 趾または第 2 趾までの長さの内、長い方の距離（足長）で除した値の百分率とした。足幅/足長比が 40.9% 以上の場合には、開張足の可能性が指摘されている（清水他, 2010）。

## 後足部角

後足部角は距骨下関節のアライメントを示し、下腿長軸と踵骨長軸が前額面上でなす角度と定義した。健常者では非荷重位では 1~8 度内反位、荷重位では 3~7 度外反位が平均とされる（小林他, 2018）。

## 足圧中心 (Center of Pressure; COP) 軌跡速度 (X・Y 方向)

COP 軌跡速度は足圧中心軌跡長を測定時間で除した値を示し、本研究では COP 軌跡を 2 方向に分けて分析を行い、X 方向は足圧板の長軸方向（足の外側から内側方向が正）、Y 方向は足圧板の短軸方向（踵から趾先方向が正）とした。

## 身体重心 (Center of Mass; COM)

身体重心は身体全体の合成重心を示し、各セグメントの重心位置や質量、体重から算出される。

### **重心動揺の急性期・安定期**

本研究では動作開始直後から重心が安定するまでの期間を急性期と定義し、安定化時間以降の期間を安定期とした。安定化時間の定義は、本文中に記した。

### **足関節内がえし捻挫(Lateral Ankle Sprain; LAS)**

LASとは、受傷肢位によらず足関節外側支持機構が損傷することを表し、スポーツ現場の中で最も受傷例が多いスポーツ外傷の一つである。本研究におけるLASは中学生以降の競技中に1回以上足関節を受傷し、医師によりLASであると診断を受けたものであると定義した。

### **軸脚・ステップ脚**

軸脚は投球動作開始時の立脚脚（右腕で投球する選手の右脚）とし、ステップ脚は投球開始後、ボールリリースの際に前方へ踏み込む脚（右腕で投球する選手の左脚）とした。



## 略語一覽

AJFAT	Ankle Joint Functional Assessment Tool
CAI	Chronic Ankle Instability
CAIT	Cumberland Ankle Instability Tool
COM	Center of Mass
COP	Center of Pressure
CP	Crossing Point
DPSI	Dynamic Postural Stability Index
FAAM	Foot and Ankle Ability Measure
FI	Functional Instability
FPI	The Foot Posture Index
GRF	Ground Reaction Force
HSEBT	Hand reach Star Excursion Balance Test
IdFAI	Identification of Functional Ankle Instability
LAS	Lateral Ankle Sprain
RMS	Root Mean Square
SEBT	Star Excursion Balance Test
TTS	Time to Stabilization
YBT	Y Balance Test

## 序

人は常に重力を受けながら、二本脚あるいは片脚での立位姿勢を保持するため、身体動揺を阻止し、安定化させるための平衡調節作用が必要となる。身体動揺の安定性は、日常生活だけでなく、運動中であってもパフォーマンスを維持するために必須である（石橋, 1999）。スポーツ競技では走る、跳ぶ、投げる、蹴るなど複雑な動作を瞬間的に行うことが要求され、いずれの動作においてもパフォーマンスの向上やスポーツ外傷・障害の予防、再発予防のためには二本脚のみならず片脚立位での安定性が必要となる。

スポーツ選手の片脚立位動作の安定性において、競技パフォーマンスやスポーツ外傷・障害との関連性を検討した先行研究では、その場での片脚立位動作や垂直ジャンプ後の片脚ジャンプ着地、片脚ドロップジャンプ着地など様々な運動課題で評価されている。片脚立位動作の安定性の評価には、その場での片脚立位保持中や片脚ジャンプ着地直後から数秒間の重心動揺指標が用いられている。これらの先行研究で用いられてきた運動課題や解析方法は、ある一定期間その場での片脚立位を保持し続ける競技や着地の後に数秒間片脚立位を保持する必要がある競技において有効な評価となる。野球競技において、投手の場合、打者へ投球する際には、その場での安定性を軸脚で保持した後に捕手方向へ蹴り出し、ステップ脚接地以降の極めて短い時間に重心を安定させることが投球パフォーマンスの維持に繋がる。さらに、打者へ投球した後には野手と共に守備連携の一端を担うため、守備動作に必要なステップ脚の安定性が必要となる。このように前方へ片脚で踏み込んだ後、早期に重心を安定させ、踏み込んだ後においても片脚立位の安定性を維持する必要がある競技は、従来検討されてきた運動課題や解析方法

では、実践の場へ応用することができない。

Dingenen et al. (2013) は身体重心の安定性には個別性があり、対象者ごとに重心が安定するまでに要する時間（以下、安定化時間；Time to Stabilization (TTS)) が異なることを報告している。スポーツ動作においても身体重心の安定性は選手個々で異なることが推測されるが、個々人の TTS を評価した上で、前方へ片脚で踏み込んだ動作の安定性を評価した報告は認められない。片脚ドロップジャンプ動作の場合では、着地直後の重心動揺には着地前の準備動作が影響し、時間が経過すると個人固有のバランス能力が反映するとされる（石橋, 1999; 杉山他, 2011; 小笠原他, 2016）。このような姿勢制御の特性は、前方へ片脚で踏み込む動作においても同様であると予測される。これらの研究を鑑みると、前方へ片脚で踏み込む動作において、TTS 以前と TTS 以降の重心動揺の 2 つの期間では与える要因が異なる可能性が推測される。

足部は地面と接する唯一の身体部位であり、足部内に存在する内側縦アーチ、外側縦アーチ、横アーチの 3 つのアーチが相互的に作用し、片脚立位動作の安定性に寄与と言われている（小林他, 2018）。また、足底部は感覚受容器から情報を取得することにより姿勢安定性に貢献している（Hylton et al., 2005）。片脚立位動作と足部アライメントとの関係に関する先行研究では内側縦アーチに着目した研究が大半であり、内側縦アーチが高い（Hertel et al., 2002; Cobb et al., 2014; Irez, 2014; Saghazadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Birinci et al., 2017; Mun et al., 2019; Beelen et al., 2020）または低い（Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019; Koshino et al., 2020）と片脚立位動作の安定性が損なわれると報告されている。一方で、内側縦アーチは片脚立位動作の安定性との関係はないと

いった報告 (Karthikeyan et al., 2015; Hyong et al., 2016; Chimera et al., 2020) もあり、一定の見解は得られていない。また、外側縦アーチは低いほうが不安定とされているが (Mun et al., 2019)、横アーチとの関係を調査した報告は極めて少ない。また、スポーツ選手を対象とした報告も少なく、前方へ片脚で踏み込む動作に対して、足部アライメントの重心動揺への影響を検討した研究も認められない。

スポーツ選手に多く発生する外傷・障害には、足関節内がえし捻挫 (Lateral Ankle Sprain; 以下, LAS) が挙げられる。LAS は既往歴や姿勢安定性の低下、足部アライメント異常などが危険因子となる (Beynon et al., 2002)。また、再発を繰り返すと慢性足関節不安定症 (Chronic Ankle Instability; 以下, CAI) などの後遺障害を発症する例もある。野球選手の投球時のステップ脚においても LAS が発生する可能性があり、片脚立位動作の安定性が低下すると既往を有した選手の再発リスクが高まる。また、LAS 既往選手の足部アライメントが異常をきたした場合には、片脚立位動作の重心動揺は健常選手と比べて、さらに不安定になることが推測される。しかしながら、野球選手の片脚立位動作の安定性に LAS の既往や足部アライメントが与える影響を検討した研究は認められない。また、LAS の既往や CAI はある一定期間片脚立位姿勢を保持した場合に不安定性に影響を与えると報告されているが、その詳細な期間については不明な点が多い。

そこで、本博士論文は大学野球選手を対象に、前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の重心動揺を TTS 前後に分けて評価し、それらに足部への負荷や投球習慣、LAS の既往が与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることを目的とする。

## 第1章 緒論

### 1-1. スポーツ選手における片脚立位動作と重心動揺

#### 1-1-1. 競技パフォーマンスと片脚立位動作の安定性との関係

いくつかのスポーツ競技では、片脚立位動作の安定性が競技パフォーマンスに影響を与える  
とされる。スポーツ選手の片脚立位動作の重心動揺と競技パフォーマンスとの関係に関する先  
行研究は多く、一般に、安定性が高いほど競技レベルがよいとされる。高校生および中学生の  
アイスホッケー選手ではスケーティング速度が速く (Behm et al., 2005)、ルージュ選手ではス  
タート時の速度が速い (Platzer et al., 2009a)。ゴルフ選手ではパーオン率が高く、チップショ  
ット後の平均パット距離が短いとされ (Wells et al., 2009)、野球選手では、投球時の軸脚の閉  
眼片脚立位の安定性が高いほど投球速度が速いとされる (Marsh et al., 2004)。ラクロス選手で  
はシュート精度に影響を与える可能性が指摘され (Marsh et al., 2010)、ラグビー選手では垂直  
および水平ジャンプ距離が大きくなり、安定性が高い程ジャンプパフォーマンスも高いと報告  
されている (Wilczynski et al., 2021)。

競技レベルによる片脚立位動作の安定性の違いについても指摘されており、バドミントン選  
手 (Masu et al., 2014)、体操選手 (Asseman et al., 2008)、ゴルフ選手 (Sell et al., 2007)、サ  
ッカー選手 (Paillard et al., 2006) では競技レベルが高いほど片脚立位動作の安定性が高いと  
される。これらに加えて、トレーニングを実施した競技者は片脚立位動作の安定性が向上する  
と競技パフォーマンスへも影響を与えるとされ、野球選手を対象に 10 週間ピラティスを活用  
したトレーニングを実施した場合には、Star Excursion Balance Test (以下、SEBT) の記録が  
向上し、投球速度が向上したと報告されている (English et al., 2007)。

これらの先行研究から、片脚立位動作の安定性は競技パフォーマンスに影響を与え、片脚立位動作の重心動揺を評価することは競技力を評価するために重要であると考えられる。

一方で、ゴルフ選手のハンディキャップスコア (Stemm et al., 2006) や大学野球選手の投球精度 (Marsh et al., 2004)、スノーボード選手のランキングポイント (Platzer et al., 2009b) は、片脚立位動作の安定性と関連性を認めないとしている。さらに、女子成人ハンドボール選手の Hand reach Star Excursion Balance Test (以下、HSEBT) のリーチ距離は、投球速度および投球精度と関係を認めないとし (Eriksrud et al., 2019)、片脚立位動作の安定性と競技パフォーマンスとの関係においては、各競技の技術的な要素や競技レベルに与える影響と得点などの結果に与える影響が異なることが考えられる。

#### 1) 運動課題

スポーツ選手の競技パフォーマンスと片脚立位動作の安定性との関係を検討した報告には、片脚立位を保持する運動課題が多く採用されている。片脚立位ではサーフェイス（床面）を変化させて、立位姿勢を保持する条件を変える課題や遊脚および上肢を遠方に到達させる課題などでも検討されている。多くの研究はその場での片脚立位を保持する課題 (Marsh et al., 2004; Platzer et al., 2009a; Platzer et al., 2009b; Wells et al., 2009; Masu et al., 2014; Asseman et al., 2008; Stemm et al., 2006; Paillard et al., 2006; Marsh et al., 2010) であるが、立脚側の踵を挙げた状態で片脚立位を保持する課題 (Wells et al., 2009) も用いられている。不安定なサーフェイス上での条件として設定される場合には seesaw (Paillard et al., 2006) や wobble board (Behm et al., 2005) などが使用され、これらの器具上で片脚立位が保持される課題を採用している。

さらに、遊脚や上肢の動作を伴いながら立脚側を保持する課題として、立脚側の足底部を固定した状態で遊脚の趾先を遠方に到達させる SEBT (English et al., 2007) や Y Balance Test (以下, YBT) (Wilczynski et al., 2021), 立脚側の足底部を固定した状態で立脚側および遊脚側の手指先を遠方に到達させる HSEBT (Eriksrud et al., 2019) が検討されている。

## 2) 評価方法と解析区間

スポーツ選手の競技パフォーマンスと片脚立位動作の安定性との関係を検討した報告において、片脚立位動作の安定性の評価方法は、様々な方法で検討されている。例えば、その場での片脚立位課題では、保持持続時間 (Behm et al., 2005; Wells et al., 2009) や保持期間内の身体重心移動量や移動速度、移動面積、変位量 (Marsh et al., 2004; Marsh et al., 2010; Masu et al., 2014), あるいは前後および内外側方向への足圧中心 (Center of Pressure; 以下, COP) 軌跡長やその幅、軌跡速度 (Asseman et al., 2008), 動揺面積 (Marsh et al., 2004; Stemm et al., 2006; Paillard et al., 2006) で、Biodex Balance System を用いた場合には stability index (Platzer et al., 2009a; Platzer et al., 2009b; Marsh et al., 2010) などで検討されている。一方、SEBT や YBT では、遊脚趾先の到達距離 (English et al., 2007; Wilczynski et al., 2021) で評価されている。SEBT を改変した HSEBT は、遊脚側の手指先の到達距離 (Eriksrud et al., 2019) が用いられている。

上記の身体重心位置や COP に関する指標、stability index などの重心動揺指標を用いた評価においては、解析区間として課題開始後 10~30 秒間の合計値、最大値または平均値で検討されている。

### 3) 視覚および足部条件

片脚立位姿勢での視覚や足部の条件も測定によって異なり、測定時の視覚条件においては開眼条件とする報告 (Stemm et al., 2006; Eriksrud et al., 2019)、開眼および閉眼条件の両者の影響を検討する報告 (Marsh et al., 2004; Masu et al., 2014; Asseman et al., 2008; Paillard et al., 2006; Marsh et al., 2010) があり、その他の報告 (Wells et al., 2009; Behm et al., 2005; Platzer et al., 2009a; Platzer et al., 2009b) は明記されていなかった。また、足部の状態においては裸足条件と明記された報告 (Asseman et al., 2008) が認められたが、その他の報告 (Masu et al., 2014; Eriksrud et al., 2019; Stemm et al., 2006; Wells et al., 2009; Behm et al., 2005; Platzer et al., 2009a; Platzer et al., 2009b) については明記されていなかった。



## 1-1-2. 片脚立位動作の安定性にスポーツ外傷・障害が与える影響

### 1-1-2-1. スポーツ外傷・障害と片脚立位動作の安定性との関係

スポーツ活動中に最も多く発症する外傷は足関節内がえし捻挫 (Lateral Ankle Sprain; 以下, LAS) であり (Fong et al., 2007; Swenson et al., 2009; Doherty et al., 2014), LAS の既往歴がある者は後遺障害が発生する例も少なくない. LAS の後遺障害には慢性足関節不安定症 (Chronic Ankle Instability; 以下, CAI) があり, 関節弛緩性の増加や関節運動の制限, 足部アライメント異常, 固有感覚や神経筋制御障害, 筋力低下や姿勢制御障害などの二次障害が併発するとされる (越野, 2018). このような LAS 既往による二次障害を予防するためには, 片脚立位動作における安定性の獲得が重要となると考えられる.

LAS の受傷と片脚立位動作の安定性の関係を検討した前向き調査では, 片脚立位動作の安定性 (Hiller et al., 2008; Engebretsen et al., 2010; Dallinga et al., 2016) や SEBT の到達距離は LAS の受傷と関係性を認めない (Shahi et al., 2021) とする報告がある. 一方で, LAS 受傷者は受傷前から不安定であったとする報告 (McGuine et al., 2000; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; Trojjanet al., 2006; Wang et al., 2006) があり, LAS の予防のためには受傷前に片脚立位動作の安定性を評価しておくことも必要であることが示唆されている.

LAS 既往者や CAI 患者の片脚立位動作の安定性を検討した報告は多く, LAS の既往や CAI による安定性への影響はないとする報告 (Tropp et al., 1984; Tropp et al., 1988; Bernier et al., 1997; Rose et al., 2000; Beynnon et al., 2001; McHugh et al., 2006; 西村他, 2011; Dallinga et al., 2016; Cheng et al., 2020; Shiravi et al., 2017) がある一方で, LAS 既往者や CAI 患者は不安定であるとする報告 (Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Leanderson et al., 1993; Goldie et

al., 1994; Guskiewicz et al., 1996; Leanderson et al., 1996; Isakov et al., 1997; Perrin et al., 1997; Baier et al., 1998; Leanderson et al., 1999; Rozzi et al., 1999; Hertel et al., 2001; Evans et al., 2004; Hiller et al., 2004; Wikstrom et al., 2007; Gribble et al., 2009; Wikstrom et al., 2010a; Wikstrom et al., 2010b; Brown et al., 2010; Lin et al., 2011; Abe et al., 2014; Kros et al., 2016; Nunes et al., 2016; Mohamadi et al., 2020; Kozinc et al., 2021b) が散見される。SEBT や YBT を用いた評価では、LAS の既往や CAI を有したほうが遊脚側の趾先の到達距離が短くなると報告されている (Nakagawa et al., 2004; Gribble et al., 2004; Hertel et al., 2006; Noronha et al., 2013; Steib et al., 2013; Doherty et al., 2016; Gribble et al., 2016; Attenborough et al., 2017; McCann et al., 2017; Jaber et al., 2018; Fraser et al., 2020; Olmsted et al., 2002) 。 LAS 既往者や CAI 患者において、片脚立位動作との関連については不安定であるとする報告の方が多いものの関係がないとする論文も多く、一定の見解を得られていないのが実情である。

LAS と着地動作の安定性においては、LAS の既往や CAI は垂直跳び (Nunes et al., 2016; Wikstrom et al., 2005) や片脚ドロップジャンプ着地 (Wikstrom et al., 2005) の着地動作において重心が安定するまでの時間に影響しないとする報告がある一方で、垂直跳び (Brown et al., 2004; Ross et al., 2005; Gribble et al., 2010) や片脚ドロップジャンプ着地 (Wright et al., 2016), 前方および側方へのジャンプ着地 (Liu et al., 2016) では、重心が安定するまでの時間が長くなるとする報告が認められる。これらの報告は CAI を呈した対象者で検討されている例が多く、ジャンプ着地などの動的な運動課題では、CAI の影響は重心が安定するまでの時間に顕著に現れることが確認されている (Brown et al., 2004; Gribble et al., 2010; Wright et al., 2016;

Liu et al., 2016) .

LAS 既往者や CAI 患者では、足部アライメントの異常が発生することもある。LAS 既往者や CAI 患者の足部アライメントに着目し、片脚立位動作の重心動揺を同時に評価した先行研究では、LAS 既往者は踵骨の内がえし角度が増加しているが 20 秒間の片脚立位時の前後方向の重心動揺に影響はないとする報告 (Beynon et al., 2001), The Foot Posture Index (以下, FPI) と SEBT の結果は二次損傷要因ではないとする報告 (Shahi et al., 2021), LAS の既往や CAI は FPI に影響を与えないが、SEBT の前方および後内外側方向の到達距離が減少するといった報告 (Fraser et al., 2020) が認められる。これらの先行研究では、LAS 既往者や CAI 患者の足部アライメントと片脚立位動作の重心動揺との関係について、まだまだ不明な点が多いのが現状である。

#### 1) 対象者

LAS の既往や CAI による片脚立位動作の安定性に対する影響を検討した報告において、先行研究で採用されている対象者は一般成人 (Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Guskiewicz et al., 1996; Bernier et al., 1997; Leanderson et al., 1999; Rose et al., 2000; Hertel et al., 2001; Abe et al., 2014; Kros et al., 2016; Gribble et al., 2009; Mohamadi et al., 2020; Nunes et al., 2016; Rozzi et al., 1999; Hertel et al., 2006; Wikstrom et al., 2005; Wikstrom et al., 2007; Wright et al., 2016; McCann et al., 2017) や運動習慣がある一般成人 (Brown et al., 2010; Gribble et al., 2010; Jaber et al., 2018; Noronha et al., 2013; Fraser et al., 2020; Wikstrom et al., 2010a; Wikstrom et al., 2010b) が多いものの、競技者においてもサッカー選手 (Tropp et al., 1984;

Tropp et al., 1988; Golomer et al., 1994; Engebretsen et al., 2010; Gribble et al., 2016; Shahi et al., 2021) やバスケットボール選手 (Leanderson et al., 1993; Leanderson et al., 1996; Perrin et al., 1997; McGuine et al., 2000; Cheng et al., 2020; Shahi et al., 2021; Wang et al., 2006), 体操選手 (Isakov et al., 1997), バレエダンサー (Hiller et al., 2004; Hiller et al., 2008; Lin et al., 2011), ラグビー選手 (西村他, 2011), ネットボール選手 (Attenborough et al., 2017), 複数の競技種目が含まれたスポーツ選手 (Goldie et al., 1994; Beynnon et al., 2001; Evans et al., 2004; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; McHugh et al., 2006; Trojian et al., 2006; Steib et al., 2013; Dallinga et al., 2016; Liu et al., 2016; Kozinc et al., 2021b; Shiravi et al., 2017; Baier et al., 1998; Nakagawa et al., 2004; Gribble et al., 2004; Olmsted et al., 2002; Ross et al., 2005) などもあり, 対象者においては多岐にわたっている。

## 2) 対象者の LAS の定義と選定基準

先行研究における LAS 受傷の定義と LAS 既往者や CAI 患者の選定基準は, 以下の通りである。①患部の圧痛や腫脹といった触診および視診 (Tropp et al., 1984; Golomer et al., 1994; Hiller et al., 2008; Noronha et al., 2013; Gribble et al., 2004; Gribble et al., 2009; Shiravi et al., 2017; Hertel et al., 2006), ②受傷回数 (Tropp et al., 1988; Isakov et al., 1997; Perrin et al., 1997; Lin et al., 2011; Steib et al., 2013; Nakagawa et al., 2004), ③徒手検査評価 (Tropp et al., 1984; Friden et al., 1989; Isakov et al., 1997), ④競技中断の有無や中断期間 (Leanderson et al., 1993; Leanderson et al., 1996; Tropp et al., 1984; McGuine et al., 2000; Trojian et al., 2006; Wang et al., 2006; Attenborough et al., 2017; McHugh et al., 2006; Engebretsen et al., 2010; Lin et al.,

2011; Cheng et al., 2020; 西村他, 2011; Gribble et al., 2016), ⑤giving way などの自覚症状 (Tropp et al., 1988; Bernier et al., 1997; Wikstrom et al., 2005; Wikstrom et al., 2007), ⑥重症度での分類 (Leanderson et al., 1999; Rose et al., 2000; Hertel et al., 2001; Evans et al., 2004), ⑦Karlsson スコアリングシステムや Cumberland Ankle Instability Tool (以下, CAIT) , Identification of Functional Ankle Instability (以下, IdFAI) , Foot and Ankle Ability Measure (以下, FAAM) , Ankle Joint Functional Assessment Tool (以下, AJFAT) などの質問紙での分類 (Hiller et al., 2004) などが挙げられるが, ⑧ 上記①～⑦を複合的に評価した基準 (Goldie et al., 1994; Abe et al., 2014; Nunes et al., 2016; Liu et al., 2016; Brown et al., 2004; Shiravi et al., 2017; Bernier et al., 1997; Baier et al., 1998; Rozzi et al., 1999; Beynnon et al., 2001; Ross et al., 2005; Jaber et al., 2018; Fraser et al., 2020; Gribble et al., 2004; Gribble et al., 2009; Rozzi et al., 1999; Olmsted et al., 2002; Brown et al., 2010; Mohamadi et al., 2020; Wright et al., 2016; Wikstrom et al., 2010a; Wikstrom et al., 2010b) を用いて対象者として選定されている例も多く認められる。

LAS の受傷や既往, CAI が片脚立位動作や片脚ジャンプ着地時の安定性に影響しないとする報告で採用された定義は, 上記①に示す触診および視診での選定 (Tropp et al., 1984; Hiller et al., 2008) , 上記②に示す LAS の受傷回数での選定 (Tropp et al., 1988), 上記④に示す競技中断の有無や中断期間による選定 (McHugh et al., 2006; Engebretsen et al., 2010; Cheng et al., 2020; 西村他, 2011) , 上記⑤に示す自覚症状での選定 (Wikstrom et al., 2005) , 上記⑥に示す重症度での選定 (Rose et al., 2000; Beynnon et al., 2001) , 上記⑧に示す複合的な評価とし

て、受傷回数と CAIT スコアを併用した選定 (Nunes et al., 2016) や受傷回数と giving way などの自覚症状を併用した選定 (Bernier et al., 1997; Shiravi et al., 2017) などが挙げられる。

LAS の受傷や既往, CAI が片脚立位動作の安定性や片脚ジャンプ着地後に安定するまでの時間, SEBT や YBT に影響するとされた報告では, それぞれ異なった基準が採用されており, 同様の定義や選定基準で行われた研究が認められない. LAS の既往が片脚立位動作の安定性に影響を与える例では, 過去 5 年以内に 2 回以上, 免荷または固定を必要とした LAS の定義が最も古い影響となる (Nakagawa et al., 2004). さらに, 思春期以降に 10~15 回同側の足関節に LAS の既往があるもの (Perrin et al., 1997) と定義している例もある. CAIT や IdFAI, FAAM, AJFAT などの質問紙により対象者を選定した例では, 全ての場合において片脚立位動作の不安定性が示されている (Abe et al., 2014; Liu et al., 2016; Fraser et al., 2020; Mohamadi et al., 2020; Nunes et al., 2016; Brown et al., 2004; Wright et al., 2016; Wikstrom et al., 2010a; Wikstrom et al., 2010b).

### 3) 運動課題

LAS の受傷や既往, CAI による片脚立位動作の安定性に対する影響を検討した報告において, 運動課題にはその場での片脚立位の保持 (Tropp et al., 1984; Tropp et al., 1988; Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Leanderson et al., 1993; Golomer et al., 1994; Goldie et al., 1994; Leanderson et al., 1996; Bernier et al., 1997; Isakov et al., 1997; Perrin et al., 1997; Leanderson et al., 1999; Rose et al., 2000; McGuine et al., 2000; Hertel et al., 2001; Beynnon et al., 2001; Evans et al., 2004; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; Trojian et al., 2006; Engebretsen

et al., 2010; Lin et al., 2011; 西村他, 2011; Steib et al., 2013; Noronha et al., 2013; Abe et al., 2014; Kros et al., 2016; Attenborough et al., 2017; Cheng et al., 2020; Mohamadi et al., 2020; Shahi et al., 2021; Kozinc et al., 2021b; Baier et al., 1998; Nakagawa et al., 2004; Rozzi et al., 1999; Wikstrom et al., 2010a; Wang et al., 2006) や不安定なサーフェイス上で片脚立位を保持する条件 (McHugh et al., 2006; Hiller et al., 2004; Engebretsen et al., 2010), demi pointe 姿勢を保持する条件 (Hiller et al., 2004; Hiller et al., 2008; Attenborough et al., 2017), SEBT (Noronha et al., 2013; Steib et al., 2013; Doherty et al., 2016; Gribble et al., 2016; Attenborough et al., 2017; Fraser et al., 2020; Shahi et al., 2021; Nakagawa et al., 2004; Gribble et al., 2004; Hertel et al., 2006; Olmsted et al., 2002; Jaber et al., 2018; McCann et al., 2017) に加え、片脚ジャンプ着地動作が用いられている。

片脚ジャンプ着地動作ではジャンプの方向や着地時のサーフェイス、ジャンプ前の条件を変化させて検討されている。ジャンプの方向は側方 (Nakagawa et al., 2004; Dallinga et al., 2016; Liu et al., 2016; Brown et al., 2010; Shiravi et al., 2017) や前方 (Dallinga et al., 2016; Liu et al., 2016; Brown et al., 2010; Steib et al., 2013; Gribble et al., 2009), 垂直方向 (Nunes et al., 2016; Brown et al., 2004; Ross et al., 2005; Wikstrom et al., 2005; Wikstrom et al., 2007; Wikstrom et al., 2010b; Gribble et al., 2010) があり、これらは平面上で着地する条件であるが、不安定なサーフェイスに着地する条件 (Nakagawa et al., 2004) や台から前方へ跳び降りて着地する条件 (Wikstrom et al., 2005; Wright et al., 2016) でも検討されている。

#### 4) 評価方法と解析区間

LAS の受傷や既往, CAI による片脚立位動作の安定性に対する影響を検討した報告において, 片脚立位動作の安定性の評価方法は, 数多くの方法で検討されている。例えば, その場での片脚立位課題では, 保持持続時間 (McHugh et al., 2006) や失敗試技の回数 (Trojian et al., 2006; Hiller et al., 2008; Engebretsen et al., 2010; Attenborough et al., 2017; Hiller et al., 2004), 30 秒間片脚立位を保持しながら遊脚を挙げた回数 (Noronha et al., 2013; Attenborough et al., 2017), COP 軌跡長やその幅, 軌跡速度, 動揺面積, 変位量, 振幅, 足長・足幅に対する位置 (Tropp et al., 1984; Tropp et al., 1988; Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Goldie et al., 1994; Perrin et al., 1997; Hertel et al., 2001; Evans et al., 2004; Lin et al., 2011; 西村他, 2011; Steib et al., 2013; Abe et al., 2014; Doherty et al., 2016; Kros et al., 2016; Mohamadi et al., 2020; Kozinc et al., 2021b; Nunes et al., 2016; Nakagawa et al., 2004; Baier et al., 1998; Wikstrom et al., 2010a; Wang et al., 2006; Jaber et al., 2018), Root Mean Square (以下, RMS) (Tropp et al., 1988; 西村他, 2011; Abe et al., 2014), 身体重心移動量や移動面積, 動揺速度 (Leanderson et al., 1993; Golomer et al., 1994; Guskiewicz et al., 1996; Leanderson et al., 1996; Bernier et al., 1997; Leanderson et al., 1999; Rose et al., 2000; McGuine et al., 2000; Beynnon et al., 2001; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; Cheng et al., 2020; Rozzi et al., 1999), スペクトルパワー (Golomer et al., 1994), 床反力 (Ground Reaction Force : 以下, GRF) (Isakov et al., 1997) で評価されている。

片脚ジャンプ着地などの動的な運動課題に対しては COP に関する指標に加えて, Time to boundary (Wikstrom et al., 2010b) や重心が安定するまでの時間 (Steib et al., 2013; Liu et al.,



2016; Gribble et al., 2009; Nunes et al., 2016; Brown et al., 2004; Ross et al., 2005; Wikstrom et al., 2005; Wright et al., 2016; Gribble et al., 2010), COP-Center of mass (COM) moment arms (Wikstrom et al., 2010a), Dynamic Postural Stability Index (以下, DPSI) (Dallinga et al., 2016; Shiravi et al., 2017; Wikstrom et al., 2007; Wikstrom et al., 2010b; Brown et al., 2010) が用いられている。

Time to boundary とは, 片脚立位時に COP が移動し支持基底面の境界に到達するまでの時間を推定し, 姿勢制御の時空間特性を定量化したものを示す (Hertel et al., 2006; Wikstrom et al., 2010b). COP-COM moment arms とは, COM 変位の推定値 (GRF 加速度を台形法により二重積分して算出) を基に水平面における COM と COP の距離を算出されたものを示す (Wikstrom et al., 2010a). また, DPSI はフォースプレートの全平面の GRF 合成値であり, 矢状軸 (X) 成分から算出される指数は内側・外側安定度指数 (medial/lateral stability index; MLSI), 前額軸 (Y) 成分から算出される指数は前方・後方安定度指数 (anterior/posterior stability index; APSI), 垂直軸 (Z) 成分から算出される指数は垂直安定度指数 (vertical stability index; VSI) にそれぞれ対応する (Dallinga et al., 2016; Shiravi et al., 2017; Wikstrom et al., 2007; Wikstrom et al., 2010b; Brown et al., 2010).

上記に示す評価にはいずれもフォースプレートを用いて計測されているが, その他にも Neuro Test System (Beynnon et al., 2001), Chattanooga balance machine (Rose et al., 2000) や The Chattecx Balance System を用いて stability index を評価する場合 (Golomer et al., 1994; Guskiewicz et al., 1996; Bernier et al., 1997) や Balance Master を用いて動揺速度を評価する

場合 (McGuine et al., 2000; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; Nakagawa et al., 2004), Biodex Balance System を用いた stability index (Rozzi et al., 1999; Cheng et al., 2020), footscan (Kros et al., 2016) で検討されている例もある。SEBT については、到達距離を対象者の脚長で除した値の百分率を用いて評価されている場合 (Noronha et al., 2013; Steib et al., 2013; Gribble et al., 2016; Attenborough et al., 2017; Fraser et al., 2020; Shahi et al., 2021; Nakagawa et al., 2004; Gribble et al., 2004; Hertel et al., 2006; Olmsted et al., 2002; McCann et al., 2017) や試技中の COP 指標 (軌跡長, 面積, 軌跡速度) で評価されている場合 (Jaber et al., 2018) が挙げられる。

身体重心位置や COP に関する指標, stability index などの重心動揺指標を用いた評価において, その場での片脚立位保持課題の解析区間は動作開始後 10~60 秒間, 片脚ジャンプ着地課題では着地直後 3~10 秒間の合計値, 最大値または平均値で検討されている。

## 5) 視覚および足部条件

測定時の視覚条件においては閉眼条件とする報告 (Beynnon et al., 2001; Noronha et al., 2013), 開眼条件とする報告 (Tropp et al., 1984; Tropp et al., 1988; Friden et al., 1989; Leanderson et al., 1993; Golomer et al., 1994; Guskiewicz et al., 1996; Leanderson et al., 1996; Leanderson et al., 1999; Hertel et al., 2001; Evans et al., 2004; Steib et al., 2013; Abe et al., 2014; Dallinga et al., 2016; Doherty et al., 2016; Gribble et al., 2016; Liu et al., 2016; Fraser et al., 2020; Gribble et al., 2009; Shiravi et al., 2017; Cheng et al., 2020; Kozinc et al., 2021b; Nunes et al., 2016; Hiller et al., 2004; Nakagawa et al., 2004; Brown et al., 2004; Rozzi et al., 1999; Hertel

et al., 2006; Olmsted et al., 2002; Ross et al., 2005; Wikstrom et al., 2005; Wikstrom et al., 2007; Wright et al., 2016; Wikstrom et al., 2010a; Wikstrom et al., 2010b; Brown et al., 2010; Gribble et al., 2010; McCann et al., 2017), 開眼および閉眼条件の両者の影響を検討する報告 (Cornwall et al., 1991; Goldie et al., 1994; Bernier et al., 1997; Isakov et al., 1997; Perrin et al., 1997; Rose et al., 2000; McGuine et al., 2000; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; McHugh et al., 2006; Trojjanet al., 2006; Hiller et al., 2008; Engebretsen et al., 2010; Lin et al., 2011; 西村他, 2011; Kros et al., 2016; Attenborough et al., 2017; Mohamadi et al., 2020; Shahi et al., 2021) が認められたが, その他の報告 (Baier et al., 1998; Wang et al., 2006; Jaber et al., 2018) については明記されていなかった。片脚ジャンプ着地などの動的な運動課題では, 全て開眼条件で実施されている。

足部の状態においては裸足条件とする報告 (Tropp et al., 1984; Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Goldie et al., 1994; Bernier et al., 1997; Isakov et al., 1997; Perrin et al., 1997; Rose et al., 2000; McGuine et al., 2000; Hertel et al., 2001; Evans et al., 2004; Trojjan et al., 2006; Hiller et al., 2008; Engebretsen et al., 2010; Lin et al., 2011; Doherty et al., 2016; Kros et al., 2016; Liu et al., 2016; Attenborough et al., 2017; Gribble et al., 2009; Shiravi et al., 2017; Cheng et al., 2020; Mohamadi et al., 2020; Shahi et al., 2021; Kozinc et al., 2021b; Nunes et al., 2016; Hiller et al., 2004; Nakagawa et al., 2004; Brown et al., 2004; Ross et al., 2005; Wright et al., 2016; Wang et al., 2006; Jaber et al., 2018), 靴下や靴を履いた状態とする報告 (Guskiewicz et al., 1996; McHugh et al., 2006; Baier et al., 1998; Wikstrom et al., 2010a; Brown et al., 2010;

Gribble et al., 2010) が認められたが, その他の報告 (Tropp et al., 1988; Leanderson et al., 1993; Golomer et al., 1994; Leanderson et al., 1996; Leanderson et al., 1999; Beynnon et al., 2001; Willems et al., 2005b; Willems et al., 2005c; 西村他, 2011; Noronha et al., 2013; Steib et al., 2013; Abe et al., 2014; Dallinga et al., 2016; Gribble et al., 2016; Fraser et al., 2020; Rozzi et al., 1999; Gribble et al., 2004; Hertel et al., 2006; Olmsted et al., 2002; Wikstrom et al., 2005; Wikstrom et al., 2007; Wikstrom et al., 2010b; McCann et al., 2017) については明記されていなかった.

#### 6) 足部アライメントに対する LAS の既往や CAI の影響

先行研究における足部アライメントに対する LAS の既往や CAI の影響を表 1-1 にまとめた.

LAS 既往者や CAI 患者は後足部角が内反 (Rubin et al., 1964; Beynnon et al., 2001; Van Bergeyk et al., 2002; Nawata et al., 2005; Valderrabano et al., 2006; Strauss et al., 2007; Lintz et al., 2019) または外反 (Shambaugh et al., 1991) しているとする報告や後足部角とは関連性がないとする報告 (Engebretsen et al., 2010; Kobayashi et al., 2013; Murata et al., 2021) が認められる. FPI を用いた評価では, 関連性を認めないと報告されている (Cherati et al., 2016; Baldwin et al., 2017; Fraser et al., 2020; Lopezosa-Reca et al., 2020; Shahi et al., 2021). 内側縦アーチ高においては, LAS 既往者は挙上 (Larsen et al., 1990; Williams 3rd et al., 2001) または低下する (Mei-Dan et al., 2005; Saki et al., 2021) と報告されているが, 関連性を認めない (Dahle et al., 1991; Tomaru et al., 2020; Kobayashi et al., 2020) といった報告もある. 前足部においては, 歩行時に中足趾節間関節が過剰に伸展するといった報告 (Willems et al., 2005a)

があるが、前足部内反角については関連性を認めないとされる (Shambaugh et al., 1991) 。 第 1 趾角は関連性を認めないと報告され (Engebretsen et al., 2010; Tomaru et al., 2020) ， 足長は LAS の既往により長く、足幅は広いと報告されている (Milgrom et al., 1991) 。

以上のことから、LAS 既往者や CAI 患者の足部アライメントは異常を呈する例やそうでない例、関係性がないとする報告が混在し、一定の見解が得られていないのが現状である。

表 1-1 先行研究における足部アライメントに対する LAS の既往や CAI の影響

No	Author	Year	n	Lateral ankle sprain / No sprain	Participants ※1	Correlation Indices ※2											
						FPI-6	Foot type	Foot length	Foot width	Hallux angle	Medial longitudinal arch height/angle	forefoot angle	rearfoot varus/valgus angle				
1	Rubin et al	1964	30	30/0	-												
2	Larsen et al	1990	95 (male:49, female:46)	61/34	16-61yr												
3	Dahle et al.	1991	55 (male:48, female:7)	6/49	15.9±1.4yr												
4	Milgrom et al.	1991	390 (male)	69/321	-												
5	Shambaugh et al	1991	45	31/14	-												
6	Williams III et al.	2001	40 (male:18, female:22)	9/31	27.8±8.1ys												
7	Beynonn et al	2001	118 (male:50, female:68)	20/98	18-23yr												
8	Van Bergeyck et al	2002	24 (male:20, female:4)	12/12	CAI: 27-60yr Control: 26-48yr												
9	Willems et al	2005	57 (male:36, female:21)	21/36	-												
10	Mei-Dan et al.	2005	65 (female)	27/38	18.5±1.0ys												
11	Nawata et al	2005	18 (male:13, female:5)	8/10	FI: 21.6yr Control: 23.2yr												
12	Valderrabano et al	2006	247 (male, female)	30/217	58.6yr												
13	Strauss et al	2007	160 (male:105, female:55)	180/0	28.3yr(14-44yr)												
14	Engelbreitsen et al	2010	508 (male)	43/465	-												
15	Kobayashi et al	2013	191 (male:145, female:24)	148/43	18-22yr												
16	Cherati et al	2016	68 (male:39, female:29)	23/45	22.06±3.62yr												
17	Baldwin et al	2017	811 (male:416, female:395)	203/608	CAI: 45.4±23.6yr Control: 46.1±24.9yr												
18	Lintz et al	2019	189 (male:74, female:115)	34/155	54.1±15.5yr												
19	Lopezosa-Reca et al	2020	220 (male)	214/6	22.5±3.88yr												
20	Tomaru et al	2020	3753 (male:1931, female:1822)	119/3655	LAS: 12.2yr Control: 10.6yr												
21	Shahi et al	2020	106 (male)	58/48	19.8±4.5yr												
22	Fraser et al	2020	80 (male:30, female:50)	58/22	LAS: 21.0±2.3yr Coper: 20.8±2.9yr CAI: 19.8±1.3yr Control: 19.6±0.9yr												
23	Kobayashi et al	2020	138 (female)	138/0	18-23yr												
24	Lee et al	2020	221 (male:120, female:101)	116/105	CAI: 41.0±8.5yr Control: 42.8±11.4yr												
25	Saki et al.	2021	152 (male)	34/118	14.4±2.9yr												
26	Murata et al	2021	290 (male)	51/239	11.9±2.0yr												

※1 CAI: Chronic ankle instability LAS: Lateral Ankle Sprain FI: Functional instability ※2 ○は関係が認められたことを表し, ×は関係が認められなかったことを示す.

## 1-2. 片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係

足部は内側縦アーチや外側縦アーチ，横アーチで構成され，これら3つのアーチにより片脚立位動作の安定性が維持されている（小林他, 2018）. さらに，足底部の感覚受容器からも情報を取得し，姿勢安定性に寄与する（Hylton et al., 2005）. 足部にある内側縦アーチと外側縦アーチ，横アーチの3つのアーチは骨や靭帯，関節包，足底腱膜，内在筋や外在筋などで支持されている（小林他, 2018）. 荷重時において，内側縦アーチは前・後脛骨筋や長・短趾屈筋，長母趾屈筋，長腓骨筋，母趾外転筋で支持されている．外側縦アーチは長・短腓骨筋，小趾外転筋，横アーチは前・後脛骨筋，長腓骨筋が支え，前足部横アーチはこれら外在筋に加え，母趾内・外転筋，底背側骨間筋も機能する．足部に位置する3つのアーチは，状況に応じて相互に作用し合い，アーチ構造の柔軟性を変化させたり，剛性を高めたりすることにより，荷重時の衝撃緩衝，歩行・ランニング動作時の前方推進力の効率化，足部の安定化に貢献する（Gwani et al., 2017; 小林他, 2018）.

### 1) 足部アライメントの評価指標

足部アライメントは後足部への荷重負荷による距骨下関節の外がえしに伴い，内側縦アーチと前足部横アーチが低下すると，中足骨頭が扇型になって足幅が広がるため，母趾外反角と小趾内反角が増大するとされる（塩田他, 2019）. したがって，足部安定化を図るためには，内側縦アーチだけでなく前足部横アーチが低下しないように配慮しなければならない．これらのアーチが破綻しているか否かは，足部アライメント指標を用いて評価されている．

足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺指標との関連性を検討した報告では，内側

縦アーチ指標は舟状骨結節の高さ (Karthikeyan et al., 2015; Birinci et al., 2017) や第 1 中足骨頭-舟状骨結節-踵骨結節が成す角度および面積 (Mun et al., 2019), 舟状骨結節を足長で除した内側縦アーチ高率 (大久保他, 1989), 足長の 50%位置における足甲高を踵骨から第 1 中足骨頭までの長さで除した Arch Height Index (Cobb et al., 2014; Saghazadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Chimera et al., 2020) などで評価されている。外側縦アーチは, 立方骨の高さや第 4 または第 5 中足骨頭-踵骨結節が成す角度 (Mun et al., 2019) で評価されている。横アーチは, 前足部角や後足部に対する前足部の内外転位置 (Cobb et al., 2004; Karthikeyan et al., 2015) や足幅/足長比 (清水他, 2013) で評価されている。これらの他にも 3 つのアーチを包括的に評価できる指標として, FPI の点数により, 回内足や回外足, 正常足に分類する方法も採用されている (Angin et al., 2013; Irez, 2014; Huang et al., 2019; Koshino et al., 2020)。また, 内側縦アーチ指標を用いて凹足 (扁平足) または凸足 (ハイアーチ) (Hertel et al., 2002; Kim et al., 2014), 回内足または回外足 (Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Hyong et al., 2016; Beelen et al., 2020) といった足部形態に分類し, 検討されている場合も散見される。

その他にも距骨下関節のアライメントは前額面上での下腿長軸と踵骨長軸のなす角度 (leg-heel alignment) で評価し (Karthikeyan et al., 2015; Fu et al., 2018), 第 1 趾角は X 線を使用した評価では母趾基節骨の長軸と第 1 中足骨の長軸のなす角度, フットプリントを使用した評価では第 1 中足骨の頭部外側と第 1 基節骨の頭部外側を結ぶ線および第 1 中足骨の頭部外側と内果後方を結ぶ線のなす角度 (清水他, 2010; Carvalho et al., 2015) が用いられている。足長や足幅は foot feature measurement system とした測定機器を使用した方法 (Mun et al., 2019)



やフットプリントを活用した方法（吉田, 2015; 清水他, 2013）で評価されている。足長は踵の中央から第 1 趾または第 2 趾までの長さの内、長い方の距離で評価されている（Irez, 2014; Carvalho et al., 2015; Karthikeyan et al., 2015; Mun et al., 2019; 吉田, 2015; 清水他, 2013）。足幅は舟状骨と第 5 中足骨粗面を結んだ距離（Mun et al., 2019）や第 1 中足骨の頭部外側と第 5 中足骨の頭部外側を結んだ距離（Karthikeyan et al., 2015; Carvalho et al., 2015; 吉田, 2015; 清水他, 2013）で評価される。

## 2) 足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺との関係

先行研究における足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺との関係を表 1-2 にまとめた。先行研究では内側縦アーチ指標、内側縦アーチ指標を基準に分類された足部形態、FPI を用いて分類された足部形態が足部アライメント指標として用いられ、重心動揺指標との関連性が検討されている報告が多く散見される。これらの見解では内側縦アーチが高いほうが不安定とする報告（Hertel et al., 2002; Cobb et al., 2014; Irez, 2014; Saghazadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Birinci et al., 2017; Mun et al., 2019; Beelen et al., 2020）と内側縦アーチが低いほうが不安定とする報告（Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019; Koshino et al., 2020）、関係性は認めないとする報告（Karthikeyan et al., 2015; Hyong et al., 2016; Chimera et al., 2020）が混在する。一方、外側縦アーチは低いほうが不安定と報告され（Mun et al., 2019）、前足部については内反角が 7 度以上の場合に不安定とする報告（Cobb et al., 2004）や関係性は認めないとする報告（Karthikeyan et al., 2015）がある。後足部については、外がえし角度が小さいほど不安定とする報告（Fu et al., 2018）や関係

性は認めないとする報告 (Karthikeyan et al., 2015) がある。第 1 趾角については鋭角なほど不安定と報告され (Carvalho et al., 2015), 足長および足幅, 踵の幅は重心動揺指標と関連性があると報告されているが長さや幅については一定の見解を認めておらず (Irez, 2014; Carvalho et al., 2015; Mun et al., 2019), 関係性は認めないとする報告 (Karthikeyan et al., 2015) もある。

以上のことから, 足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺はいくつかの関係性が認められているが, 各指標において一定の見解は得られていないのが現状である。

表 1-2 先行研究における足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺との関係

No	Author	Year	n	Participants ※1	FP1-6	Foot type	Heel breadth	Foot length	Foot width	Hallux angle	Medial longitudinal arch height/angle/area	Lateral longitudinal arch height/angle	forefoot angle	rearfoot valgus angle
1	Hertel et al.	2002	30 (male: 15, female: 15)	21.9±2.0 yr		○(COP area) ×(COP velocity)								
2	Cobb et al.	2004	32 (male: 16, female: 16)	MFV: 29.0±8.4 yr LFV: 25.8±6.0 yr									○ (AP-GRF)	
3	Cote et al.	2005	16	Pronated: 20.7±2.2 yr Neutral: 20.7±2.2 yr Supinated: 20.4±1.3 yr		○ (stability index) (SEBT)								
4	Tsui et al.	2006	45 (male: 24, female: 21)	18-31 yr		○ (COP velocity in AP/ML)								
5	Anglin et al.	2013	118 (male:62, female:56)	22.1±3.1 yr	○ (sway velocity)									
6	Cobb et al.	2014	108 (male:40, female:68)	22.8±4.7 yr							○ (ML balance)			
7	Irez	2014	113 (male: 74, female: 37)	21.3±1.63 yr	○ (score)		○ (score)	○ (score)						
8	Kim et al.	2014	28 (male: 18, female: 10)	Normal: 23.6±4.0 yr Flat: 22.8±1.9 yr		○ (COP velocity in AP/ML)								
9	Saghazadeh et al.	2015	140 (female)	73.9±5.1 yr							○ (COP area)			
10	Karimkhan et al.	2015	60 (male: 30, female: 30)	18-31 yr				× (COP excursion)	× (COP excursion)		× (COP excursion)		× (COP excursion)	× (COP excursion)
11	Carvalho et al.	2015	110 (female)	Older: 68±5 yr Younger: 21±2 yr				○ (COP velocity and area in AP/ML)	○ (COP velocity and area in AP/ML)	○ (COP velocity and area in AP/ML)	○ (COP velocity and area in AP/ML)			
12	Hyong et al.	2016	162	20.9 yr		× (SEBT)								
13	Birinci et al.	2017	50 (male: 25, female: 25)	22.2±1.3 yr										
14	Fu et al.	2018	216 (male: 116, female: 100)	15-24 yr										○ (BESS, SEBT)
15	Huang et al.	2019	24 (male: 7, female: 17)	Normal: 24.8±3.0 yr Flat: 26.8±5.0 yr	○ (COP displacement in AP/ML)									
16	Mun et al.	2019	13 (male)	28.08 yr				○ (COP distance in ML/total)	○ (COP distance in ML/total)			○ (COP distance in ML/total)		
17	Beelen et al.	2020	43 (male: 24, female: 19)	male: 25.6±5.1 yr female: 23.6±4.7 yr		○ (COP velocity)								
18	Koshino et al.	2020	27 (male)	21.5±1.5 yr	○ (COP displacement in AP/ML)									
19	Chimera et al.	2021	20 (male: 6, female: 14)	35±18 yr							× (YBT)			

※1 MFV: 両側の前足部内反角が7度以上の群 LFV: 両側の前足部内反角が7度未満の群  
 ※2 ○は関係が認められたことを表し、×は関係が認められなかったことを示す。  
 ※3 カッコ内は、重心動揺指標を示す。

Pronated: 回内足の群 Supinated: 回外足の群 Neutral/Normal: 正常足の群 Flat: 扁平足の群

### 1-3. 片脚立位動作の安定性にトレーニング習慣が与える影響

#### 1) トレーニング習慣と片脚立位動作の安定性との関係

片脚立位動作の重心動揺は、競技スポーツの特性やトレーニング習慣（履歴）が影響を与える可能性もある。先行研究において、サッカー選手（Snyder et al., 2020）や太極拳選手（Mak et al., 2003）、体操選手（Vuillerme et al., 2001; Asseman et al., 2008）、バレエダンサー（Lin et al., 2014）は非競技選手と比べて安定性が高いとする報告、バドミントン選手と非競技選手は差がないとする報告（Wong et al., 2019）が認められている。ゴルフを実施した高齢者（Tsang et al., 2010）やスキーを行った健常者（Malliou et al., 2004）は、片脚立位動作の安定性が増加するとされる。また、バスケットボール選手（Kamikura et al., 2018）やフィギュアスケート選手（Kovacs et al., 2004）、サッカー選手（Gioftsidou et al., 2006）、新体操選手（Dobrijević et al., 2016）、ダンサー（Ljubojević et al., 2012）、バレーボール選手（Pau et al., 2012）が2～12週間のバランストレーニングを実施した場合や野球選手が10週間ピラティスを活用したトレーニングを行った場合（English et al., 2007）には、片脚立位動作の安定性が向上すると報告されている。高齢者ではバランストレーニングやレジスタンストレーニング（Judge et al., 1993; Wolf et al., 1997; Beling et al., 2009; Jacobson et al., 2011; Maughan et al., 2012; Leiros-Rodriguez et al., 2014; Donath et al., 2016）、太極拳（Wolfson et al., 1996）、公園を活用したエクササイズ（Sales et al., 2017）を6週間～6ヶ月間実施した場合には片脚立位動作の安定性が向上すると報告されている。

競技種目の違いを検討した研究において、SEBTを用いた評価ではフィールドホッケー選手はサッカー選手と比べて、後方と外側の到達距離が長くなるとし（Bhat et al., 2013）、サッカ

一選手はバスケットボール選手と比べてスコアが高いと報告されている (Bressel et al., 2007). テコンドー選手はフェンシング選手と比べて、後内外側および到達距離の合計が長くなるとされる (Guan et al., 2021). Balance Error Scoring System (BESS) を用いた評価では体操選手はバスケットボール選手と比べて、55%スコアが低いとされている (Bressel et al., 2007). その場での片脚立位保持で評価した報告では、モダンダンサーやバレエダンサーはサッカー選手と比べて、安定性が高く (Gerbino et al., 2007), サッカー選手はバスケットボール選手 (Glass et al., 2021) や水泳選手と比べて安定性が高いとされる (Matsuda et al., 2008). また、アメリカンフットボール選手は、アイスホッケー選手と比べて安定性が高いとする報告もある (Walsh et al., 2018). Knight et al. (2016) の陸上競技選手を対象とした報告では、短距離種目および長距離種目、投擲種目においてそれぞれ安定性が異なることが示されている.

スポーツ選手の片脚立位動作における左右側の安定性の違いに着目した研究では、利き脚 (ボールや物を蹴る側の脚) と非利き脚に分類し、比較、検討されている. これらの報告において、陸上競技選手では非利き脚のほうが不安定とされ (Knight et al., 2016), テニス選手は利き脚のほうが片脚立位動作や片脚ジャンプ着地において安定性が高いと報告されている (Kozinc et al., 2021a). サッカー選手は非利き脚のほうが安定性は高く、左右差があることが指摘されている (King et al., 2017; Jadczyk et al., 2019; Meiners et al., 2020). バレエ選手は左右の安定性に差は認められないが、競技歴が長いほうが非利き脚のほうで安定性が高いとされる (Lin et al., 2014). テコンドー選手は、利き脚のほうが SEBT を用いた趾先距離が長いとされる (Guan et al., 2021). また、ハードルを専門種目とする選手を対象とした報告ではハード

リング中のリード脚に着目され、左または右のいずれかでハードルを越える選手は一側の脚のみでハードルを越える選手と比べて、左右両脚の安定性が高いと報告されている (Wojciechowska-Maszkowska et al., 2020)。一方で、ラグビー選手 (Wilczynski et al., 2021) やフィールドホッケー選手 (Huurnink et al., 2014) は片脚立位動作の安定性に左右差がないといった報告もされており、競技種目により片脚立位動作の安定性への影響が異なると考えられる。

ポジション特性に着目した研究では、ラグビー競技において、バックスの選手はフォワードの選手と比較して、左右両脚の安定性が高く、特に利き脚のほうで安定性が高いと報告されている (Brown et al., 2018)。サッカー競技では、ミッドフィルダーの選手はディフェンダーの選手 (Pau et al., 2014) やゴールキーパーなどその他のポジション (Jadczak et al., 2019) よりも安定性が高いと報告されている。野球競技では、内野手は投手と比べて、利き脚の YBT のスコアが高いとされる (Ryu et al., 2019)。

これらの先行研究から、競技特性やトレーニング習慣 (履歴)、一定期間のエクササイズにより左右の片脚立位動作の重心動揺に影響を与えられられる。

#### 1-4. 問題提起

##### 1) 対象者に対する問題点

いくつかのスポーツでは、ポジションなどの競技特性やトレーニング習慣が片脚立位動作の重心動揺への左右差を生み出す。野球競技において、投球時にはグラブを片手にはめることで投球腕が一侧に固定されているため、軸脚とステップ脚は決まっており、重心動揺において左右差が顕著になることが推測される。また、投手は軸脚で投手板を踏みながら、傾斜があるマウンド上からステップ脚を大きく踏み込んだ状態で捕手方向へ投球することから、投球時には体重の 1.75 倍の負荷が前方へ踏み込んだ脚にかかるとされる (MacWilliams et al., 1998)。野手は助走をつけた投球や体勢が崩れた状態で投球する機会が多く、捕球後可能な限り短時間で投球するために軸脚からステップ脚へ重心移動を素早く行うことが必要となる。このように投球時には軸脚およびステップ脚にかかる負荷が異なり、ポジション別で左右差への影響に違いが出現する可能性が推察される。しかしながら、先行研究では野球選手を対象に、軸脚およびステップ脚の片脚立位動作の重心動揺をポジション別で検討した報告は認められない。投手において、投球速度を上げるためには、軸脚の片脚立位動作の安定性が必要とされる (Marsh et al., 2004; English et al., 2007)。投球時には軸脚だけではなく、ステップ脚の片脚立位動作が不安定になるとボールリリース以降の投球パフォーマンスへ影響を与える可能性が考えられるが、ステップ脚の重心動揺については不明な点が多い。

片脚立位動作の不安定性に影響を与えるスポーツ外傷・障害には、LAS や CAI が挙げられる。片脚立位動作の重心動揺に LAS の既往や CAI が与える影響を検討した先行研究では、スポーツ選手が対象者として数多く選定されているがその種目については多岐にわたる。野球競

技における下肢の外傷・障害調査では、LAS が上位を占めている（山田他, 2013; Camp et al., 2017; Posner et al., 2011; Salhab et al., 2019）。投球動作において、宮下（2012）はステップ脚に LAS 受傷後の外側不安定性や足趾の外転制限、外側縦アーチの低下など足部・足関節の機能が低下した場合にはボールリリース時に不安定となり、上肢への負荷が高まることを指摘している。さらに、足関節不安定性を有する野球選手のステップ脚に足底挿板を処方した場合には、ボールリリース時の膝関節の外方偏位が消失し、ステップ脚が安定したと報告されている。このように、野球競技では LAS 既往による後遺障害が投球動作に影響し、LAS 受傷脚への介入に対する安定性への効果が記されているが、野球選手の LAS の既往が片脚立位動作の重心動揺に与える影響は、明確に示されておらず、不明な点が多い。加えて、野球選手に LAS の既往があり、足部アライメントに異常を呈した場合には、片脚立位動作がさらに不安定となる可能性が考えられるが、LAS の既往を有した野球選手の足部アライメントが片脚立位動作の安定性に与える影響においても明らかにされていない。野球競技においても LAS 既往者の足部アライメントが異常を呈する場合もあり、現状の報告では LAS 既往者の片脚立位動作の重心動揺に足部アライメントが与える影響について不明な点が多く、再発を予防するためには情報に乏しい。

片脚立位動作の重心動揺には、足部アライメントも影響を与えることが報告されている。先行研究では健常成人や高齢者が対象者として選定され、スポーツ選手への影響を検討した報告は Koshino et al. (2020) の研究のみである。スポーツ選手の足部アライメントが異常を呈した場合には、健常成人と同様に片脚立位動作の安定性に影響を与える可能性が推測され、競技パ



パフォーマンスへも影響を与えると考えられる。しかしながら、先行研究ではスポーツ選手を対象者に選定されていないため、スポーツ選手の足部アライメントが片脚立位動作の重心動揺に与える影響については不明な点が多く、競技パフォーマンスを向上するために必要な情報が少ない。

以上のことを鑑みると、野球競技の投球パフォーマンスの向上や LAS の再発を予防するためには、野球選手を対象にポジション特性や LAS の既往、足部アライメントが片脚立位動作の安定性に与える影響を明らかにする必要がある。したがって、対象者には、野球選手を選定する必要がある。

## 2) 足部アライメント指標に対する問題点

足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺との関係において、先行研究では内側縦アーチや足部形態（凹足（扁平足）、凸足（ハイアーチ）、回内外足）、FPI を用いて評価されている例が散見される。しかしながら、横アーチ指標と片脚立位動作の重心動揺との関係を検討した報告は、Cobb et al. (2004) や Karthikeyan et al. (2015) の研究以降認められない。足部アライメントは内側縦アーチ、外側縦アーチ、前足部横アーチの相互作用により、足部安定化を図る。内側縦アーチの低下は前足部横アーチの低下を招くため、前足部横アーチが低下しても片脚立位動作の安定性に影響をおよぼすと推測される。しかしながら、前足部横アーチと片脚立位動作の重心動揺との関係については不明な点が多く、足部安定化を図るためには情報が乏しい。したがって、片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントの関係は、前足部横アーチの指標を含めて検討する必要がある

### 3) 運動課題に対する問題点

競技パフォーマンスと片脚立位動作の安定性を検討した先行研究では、その場での片脚立位保持を運動課題に設定されている例が多い。野球競技において、投球時にはポジションに関わらず、ステップ脚を前方へ踏み込んだ状態で投球する機会が認められる。投手はマウンド上から捕手方向へ大きく踏み込む必要があり、野手においてはジャンプをしながらステップ脚を接地し、投球する場合もある。いずれのポジションにおいても投球時のステップ脚には体重以上の負荷がかかることが推測され、前方へ踏み込む動作の片脚立位姿勢の安定性が必要であると考えられる。野球競技の投球動作を例にとると、軸脚の重心動揺を評価する際には、その場での片脚立位課題が実際の競技動作に酷似した条件と考えられる。しかしながら、ステップ脚については前方へ片脚で踏み込んだ後の片脚立位姿勢であるため、先行研究で検討されてきたその場での片脚立位課題で重心動揺を評価するのでは、実践の場に応用することができない。

LAS の既往や CAI は片脚立位動作の安定性に影響を与えるとする報告は散見されるが、これらの多くはその場での片脚立位保持や片脚ジャンプ着地が運動課題に設定されている。バドミントン競技の場合、前方へ踏み込んだ脚の COP が外側に変位した場合には、LAS が発生しやすいとしている (西野, 2014)。野球競技の場合においても投球時は、ステップ脚接地時に不安定になると LAS の発生および再発リスクが高まる可能性が推測される。しかしながら、前方へ片脚で踏み込む動作を用いて、LAS の既往が与える影響を検討した報告は認められず、その影響については不明な点が多いのが現状である。前方へ片脚で踏み込む動作は、その場での片脚立位保持と比べて身体重心の移動量が大きい。先行研究で採用された運動課題では、前方へ片脚で踏み込む競技に応用することができない。

足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺との関係において、先行研究では開眼または閉眼時のその場で片脚立位を保持する条件や SEBT を用いて検討されている。ジャンプ着地動作において、内側縦アーチは着地時の構造変化の影響を受けて、足関節や膝関節、股関節の角度が変化し、さらに GRF にも影響を与えるとされる (Chang et al., 2012; Powell et al., 2012)。しかしながら、これらの先行研究はジャンプ着地動作の下肢関節角度や GRF についての結果のみ報告されており、着地後の重心動揺については明らかにされていない。野球競技の投球時にはジャンプや前方へ大きく踏み込む動作があり、その場での片脚立位保持と比べて、上下および前方への身体重心の移動量が大きい。野球競技における片脚立位動作の重心動揺を評価するためには、身体重心の移動量を考慮して運動課題を設定しないと実践の場へ応用することができない。

以上のことを鑑みると、前方へ片脚で踏み込んだ後の片脚立位課題を用いて、安定性を評価することは、野球競技の実践の場へ応用しやすく、前方へ踏み込むことにより LAS の既往が影響を与える競技に還元できると考えられる。また、前方へ大きく踏み込む動作を多用する競技の安定性に足部アライメントが与える影響は、実際に前方へ踏み込む動作を実施したほうがその影響を明確に示すことができる。したがって、野球競技の投球習慣や LAS の既往が片脚立位動作の重心動揺に与える影響を検討するためには、その場での片脚立位動作に加えて、前方へ踏み込んだ後の片脚立位姿勢、これらに足部への負荷を高めた条件を運動課題に設定し、実践に酷似した条件で評価する必要がある。

#### 4) 評価方法に対する問題点

片脚立位動作の安定性について、スポーツ選手の競技パフォーマンスや LAS の既往、CAI の影響を検討した先行研究では、COP に関する指標などの重心動揺指標、遊脚趾先や遊脚側の手指先の到達距離などを用いて評価されてきた。重心動揺指標を用いた評価では、その場での片脚立位保持課題では動作開始後 10～60 秒間、片脚ジャンプ着地課題では着地直後 3～10 秒間の解析区間が採用されている。

野球競技において、投球時には下肢および体幹部、上肢がスムーズに連動することによりボールにエネルギーが伝達される(筒井他, 2010)。投手の場合、投球時にはステップ脚接地以降、約 1 秒間片脚立位姿勢を保持しながらボールリリースを迎える(田中他, 2012)。ステップ脚を踏み込んだ後の片脚立位姿勢が不安定になった場合には、ボールリリースの際に体幹部や上肢で補正することが予測され、投球時のパフォーマンスに影響を与える可能性がある。したがって、投手はステップ脚接地以降に、出来る限り早期に片脚立位動作の安定化を図る必要がある。また、実践ではボールリリース後、直ちに守備連携の一端を担う場合があり、守備動作を開始するために必要な安定性が要求される。つまり、野球競技の投手を例にとると、打者に対して投球する機会と投球直後に守備動作を行う機会の 2 つの局面に対して、ステップ脚の片脚立位動作の安定性が必要となる。このように前方へ踏み込む動作に対して、2 つの局面を有する競技の片脚立位姿勢の安定性を評価するためには、先行研究で検討されてきた遊脚趾先や遊脚側の手指先の到達距離、片脚立位保持期間中や着地直後の数秒間といった 1 つの局面で重心動揺指標を用いて評価するのでは、投手の例のような実践の場へ応用することができない。

片脚ドロップジャンプ動作の着地後の安定性は、時間の経過に伴い与える影響が異なること

が指摘されている。着地後 20~200 ミリ秒区間の平均 COP 速度や COP 軌跡長は着地前の準備動作が影響し (小笠原他, 2016), 着地直後には個人固有のバランス能力が反映するとされる (杉山他, 2011)。Dingenen et al. (2013) は, 立位姿勢の安定性は動作開始後重心が安定するまでの時間 (以下, 安定化時間; Time to Stabilization (TTS)) を用いて評価する必要性を示し, 対象者ごとに異なった安定化時間が存在することを報告している。これらの研究を鑑みると, 片脚立位動作は動作開始または着地直後から TTS までは着地前の準備動作が影響を与え, TTS 以降には個人固有のバランス能力が反映される可能性が推測される。野球競技の投手の例のように, 前方へ片脚で踏み込んだ後からボールリリースまでの期間とその後守備動作を行う期間で安定性を保ち続ける必要がある競技は, 選手個々で TTS が異なり, TTS 前後で安定性に与える影響も異なる可能性が予測される。

LAS 既往者や CAI 患者では, 一定期間片脚立位動作を保持した場合に不安定性に影響を与えることが示されているが, その詳細な期間が不明瞭である。LAS の既往を有する選手においても TTS はあり, 片脚立位動作の安定性に LAS の既往による影響が出現する期間が安定化を図る前であるか否かは明確に示されておらず, 既往による影響が残る期間においても調査されていない。野球競技の投手の例のように, 2つの局面で安定性が必要な競技では, LAS の既往による重心動揺への影響が出現する期間や残存する期間を明らかにする必要がある。

足部アライメントはその場での片脚立位動作開始後 10~30 秒間の重心動揺指標に影響を与えるとされるが, 関係を始めた期間が不明瞭である。片脚ドロップジャンプ動作の重心動揺は時間の経過に伴い与える影響が異なるとされ, 足部アライメントにおいても片脚立位動作の

重心動揺に与える期間に違いがある可能性が考えられる。野球競技の投手の例のように、2つの局面で安定性が必要な競技では、これら両局面においても足部安定化は要求されることから、足部アライメントが与える影響を TTS 前後で検討する必要がある。

以上のことを鑑みると、前方へ片脚で踏み込んだ後も安定性を保ち続けた状態でその後の動作を開始する競技に対して、安定性を評価するためには TTS までの期間（以下、急性期）と TTS 以降の期間（以下、安定期）を解析区間として設定することが必要である。さらに、LAS の既往や足部アライメントが片脚立位動作の重心動揺に与える影響を検討するためには、TTS 前後に分けて評価することが実践に応用可能な方法となる。

## 1-5. 本研究の目的と意義, 概略

### 1-5-1. 目的

本研究は大学野球選手を対象に、前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢について、急性期と安定期の重心動揺を評価し、足部への負荷や投球習慣, LAS の既往が与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることとした。これらの目的を達成するために、まず、その場での片脚立位動作および前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と足部アライメントとの関係について、前方への片脚踏み込み動作に足部への負荷を高めた条件でその影響を明らかにし (研究課題 I), 次に、研究課題 I の解析方法を用いて、投球習慣がその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響 (研究課題 II), LAS の既往がその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響 (研究課題 III) について検証した。

### 1-5-2. 意義

本研究では大学野球選手の前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の急性期および安定期の重心動揺に足部への負荷や投球習慣, LAS の既往が与える影響, これらの影響と足部アライメントとの関係を明らかにすることができる。運動課題にはその場での片脚立位動作に加えて、投球動作に酷似した条件を設定する。重心動揺指標の評価では、解析区間を急性期と安定期に分けて検討する。これらの条件や評価は先行研究で検討されてきた方法と比べて、野球競技の実践に酷似した方法となるため、得られた結果はスポーツ現場に応用しやすい情報となる。また、足部アライメント指標に横アーチ指標を加えることで、足部安定化に与えるアライメントの理解を深めることに繋がる。

本研究で得られた知見は、野球選手における前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の足部安定化に必要な情報となり、投球パフォーマンスや守備能力の向上、ならびに LAS の既往を有する選手の再発予防の一助となることが期待される。

### 1-5-3. 本研究の構成

本研究は、緒論（第 1 章）、片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係（第 2 章）、野球選手の投球習慣が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響（第 3 章）、LAS の既往が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響（第 4 章）、総括論議（第 5 章）、結論（第 6 章）から構成される。

#### 第 1 章：緒論

競技パフォーマンスと片脚立位動作の安定性との関係、片脚立位動作の安定性にスポーツ外傷・障害が与える影響、片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係、片脚立位動作の安定性にトレーニング習慣が与える影響について、先行研究で採用されている対象者や足部アライメント指標、運動課題、評価方法に対する問題点を議論し、本博士論文の研究目的を設定した。

#### 第 2 章：片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係（研究課題 I）

硬式野球部に所属する男子大学生を対象に、その場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作、前方への片脚踏み込み動作に足部への負荷を与えた場合での急性期と安定期の重



心動揺の違いを検討すること、これら3つの条件における急性期および安定期の重心動揺と足部アライメントとの関係について明らかにすることを目的とした。

副論文：安田良子，栗原俊之，篠原靖司，伊坂忠夫：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，37(1)，77-86，2022.

### 第3章：野球選手の投球習慣が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響（研究課題Ⅱ）

硬式野球部に所属する男子大学生を対象に、ポジションの違いが投球時の軸脚およびステップ脚のその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の重心動揺に与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることを目的とした。

副論文：安田良子，栗原俊之，篠原靖司，伊坂忠夫：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，36(3)，345-352，2021.

### 第4章：LASの既往が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響（研究課題Ⅲ）

硬式野球部に所属する男子大学生を対象に、LAS既往の有無がその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の重心動揺に与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることを目的とした。

副論文：安田良子，栗原俊之，篠原靖司，伊坂忠夫：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，日本臨床スポーツ医学会誌，30(3)，ページ数未定，2022.

## 第5章：総括論議

以上の結果に基づいて、1) 片脚立位動作の急性期と安定期の重心動揺に与える影響と足部アライメントとの関係、2) 投球習慣や LAS の既往による適応が前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響について総括的に考察した。さらに、3) 今後の課題においては本研究で明らかにすることができなかった点を示し、研究の展望について明記した。

## 第6章：結論

本博士論文から得られた知見より、大学野球選手における前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の重心動揺評価と足部アライメントおよび LAS の既往との関係について結論した。

## 第 2 章 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係 (研究課題I)

### 2-1. はじめに

いくつかの競技スポーツにおいて、片脚立位動作の安定性はパフォーマンスにも影響を与え、片脚立位動作の重心動揺を評価することは競技力を向上させるために重要である。野球競技において、投球時の軸脚は片脚立位動作の安定性が高いほど投球速度が速いとされる (Marsh et al., 2004) が、ステップ脚においては片脚立位動作の安定性を検討した報告は認められない。

野球競技の投球時において、投手は傾斜のあるマウンドの上からホームプレートに向かって投球する機会が多く、ステップ脚には体重の 1.75 倍の負荷がかかるとされる (MacWilliams et al., 1998)。野手では、守備の際にジャンプをしながら投球する機会がある。これらの競技特性を鑑みると、片脚立位動作の安定性は前方へ踏み込む動作や足部への負荷を高めた条件を想定し、評価することで実践現場へ応用できると考えられる。

投球は約 3 秒で終える動作であり (田中他, 2012)、投手はステップ脚接地以降、極めて短い時間に重心を安定させ、ボールリリースを迎えることが要求される。また、野球競技の実践現場では、投手は打者へ投球した後、バントなどで打球が内野に転がった際には、内野手と共に守備連携の一端を担う機会がある。このような場面では、投手のステップ脚は、打者に対して投球する機会と守備動作を開始する機会の 2 つの局面に対して、片脚立位動作の安定性が要求される。先行研究において、スポーツ選手の片脚立位動作の重心動揺は、片脚立位保持持続時間 (Behm et al., 2005; Wells et al., 2009) や 10~30 秒間の保持期間中の重心動揺指標 (Marsh et al., 2004; Marsh et al., 2010; Masu et al., 2014; Stemm et al., 2006; Paillard et al., 2006; Asseman et al., 2008) を用いて評価されてきた。これら先行研究の評価方法は、片脚立位動作

の安定性が1つの局面である場合には有効と考えられるが、野球競技の投手のように、2つの局面に対して片脚立位動作の安定性を評価する必要がある競技に対しては、応用することができない。

片脚ドロップジャンプ動作の場合には、着地後20~200ミリ秒区間の平均COP速度やCOP軌跡長は着地前の準備動作が影響を与え（小笠原他, 2016）、着地直後時間が経過した後には個人固有のバランス能力が反映するとされる（杉山他, 2011）。Dingenen et al. (2013)は、立位姿勢の安定性は対象者ごとにTTSが存在することを報告している。前方へ片脚で踏み込む動作においてもTTSはあり、重心が安定するまでの期間と安定した後の期間で重心動揺に与える影響が異なる可能性が推測される。野球競技の投手の例のように、片脚立位を保持した後、安定性を保ち続けた状態でその後の動作を開始する競技はTTSを用いて、TTS前後の重心動揺を評価することが必要であると考えられる。

足部は内側縦アーチと外側縦アーチ、横アーチの3つのアーチで構成されている。足部アライメントは後足部へ荷重負荷が高まると距骨下関節が外がえしとなり、それに伴い内側縦アーチと前足部横アーチが低下する。足幅はこれらアーチの低下に伴い、扇型に広がり、結果として母趾外反角と小趾内反角が大きくなるとされる（塩田他, 2019）。これらの見解から、足部安定化を図るためには、内側縦アーチだけでなく前足部横アーチも低下しないように配慮しなければならない。

足部アライメントはその場での片脚立位動作の重心動揺に影響を与えるが（Hertel et al., 2002; Cobb et al., 2014; Irez, 2014; Saghadzadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Birinci et al.,

2017; Mun et al., 2019; Beelen et al., 2020; Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019; Koshino et al., 2020), いずれの報告においても 10~30 秒間における保持期間中の重心動揺指標で評価されている。さらに、横アーチ指標との関係を検討した報告は前足部内反角が 7 度以上になると不安定とする見解 (Cobb et al., 2004) や関係性を認めないとする見解 (Karthikeyan et al., 2015) があり、一定のコンセンサスが得られていない。ジャンプ着地動作への影響は、下肢関節角度の変化や GRF と足部アライメント指標との関係についてのみ検討され (Chang et al., 2012; Powell et al., 2012), 着地後の瞬間的な動作の変化は報告されているが、着地後の安定性については明らかにされていない。加えて、スポーツ選手を対象とした報告は、Koshino et al. (2020) による両脚立位から片脚立位動作時の COP 変位量と内側縦アーチ高との関連性を検討した報告のみであり、スポーツ選手へ与える影響についても不明な点が多い。

以上のことから、野球選手は軸脚だけではなく、ステップ脚の片脚立位動作の安定性を評価し、前方へ片脚で踏み込む動作とこれらの動作に足部への負荷を高めた条件を考慮して、運動課題を設定する必要がある。また、前方へ片脚で踏み込む動作の場合には、着地以降の極めて早い時間に重心を安定させ、安定性を保持した状態でその後の動作に移行することでパフォーマンスを維持することができる。したがって、その場での片脚立位動作と前方へ片脚で踏み込む動作は、急性期および安定期の重心動揺指標を用いて評価することが実践現場に応用するためには必要である。加えて、これら動作に対して、野球選手を対象に足部アライメント指標と重心動揺指標との関係を調査し、足部アライメントが重心動揺へ与える影響を検討する必要がある。

ある。

そこで、本研究ではその場での片脚立位動作と前方へ片脚で踏み込む動作、前方へ片脚で踏み込む動作に足部への負荷を高めたことが急性期と安定期の重心動揺に与える影響を検討することとした。さらに、3条件における急性期と安定期の重心動揺指標と足部アライメント指標との関係を検討し、足部アライメントが重心動揺に与える影響を明らかにすることを目的とした。

## 2-2. 方法

### 2-2-1. 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（年齢  $19.9 \pm 1.1$  歳，平均値 $\pm$ 標準偏差）。対象者の選定基準は計測時に下肢に外傷・障害や疼痛がなく，視力障害や神経性障害のない者とし，これらの要因により計測時に支障が出る者は対象者から除外した。

本実験はヘルシンキ宣言および個人情報保護法に基づき，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，個人情報を厳重に管理し，個人が特定されないこと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。

### 2-2-2. 研究プロトコル

すべての対象者に対して，足部アライメント，その場での片脚立位動作，前方への片脚踏み込み動作，台からの片脚踏み込み動作の重心動揺および最大床反力を測定した。測定の順番は，まず初めに足部アライメントを測定した後，3条件における重心動揺および最大床反力を測定

した。全評価項目の測定は、全て同一検者が実施した。本研究課題では足部への負荷を高めた場合の動態を比較することを意図したため、投球時におけるステップ脚のみ全ての項目を測定した。

### 2-2-3. 測定項目

#### 2-2-3-1. 足部アライメント

足部アライメントは内側縦アーチ高率、足趾角（第1趾側角および第5趾側角）、開張角、足幅/足長比をそれぞれ1回測定した。各指標における測定の順番は、対象者ごとにランダムとした。

足部アライメント指標の検者内信頼性は、SPSS（バージョン 25.0, IBM 社製）を用いて、統計解析を行った。解析方法は、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、級内相関係数（intraclass correlation coefficients; ICC）（1, 1）で評価した。

#### 2-2-3-1-1. 内側縦アーチ高率

内側縦アーチ高率の計測は、Cowan et al. (1993) の方法を改変して行なった（図 1-1）。対象者を平坦な 2 枚の測定板（板の間隔 25 cm）の上に立たせ、肩幅程度に開いた位置で両脚立位姿勢を取らせた。その後、計測者が舟状骨結節を直接触知し、マークシールを貼付した後、スマートフォン(iPhone7, Apple 社製, 日本)に附属している標準カメラ機能を用いて、オートフォーカスでステップ脚側の足部を撮影した。スマートフォンは、撮影肢から 25 cm 離れた位置に設置し、足部全景が写るようにした。撮影の際には、左右均等に荷重立位を取ること、撮影脚の母趾を測定板先端に合わせ、足部内側縁を測定板の端に沿わせた位置で立つことを口

頭で指示した。写真撮影後は、スマートフォンのアプリ機能（フォトルーラー、GRYMALA 社製、ベラルーシ）を用いて舟状骨結節から測定板までの垂直距離を計測した。測定板の側面には、あらかじめテープメジャーを接着し、これを基準に比率を同期させた。撮影した写真の画素数は、1200 万画素であった。計測時の最小単位は 1 mm とし、級内相関係数 (ICC (1, 1)) は 0.99 であった ( $p < 0.01$ )。内側縦アーチ高率の算出方法は久保他 (1989) の方法を採用し、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を算出した。

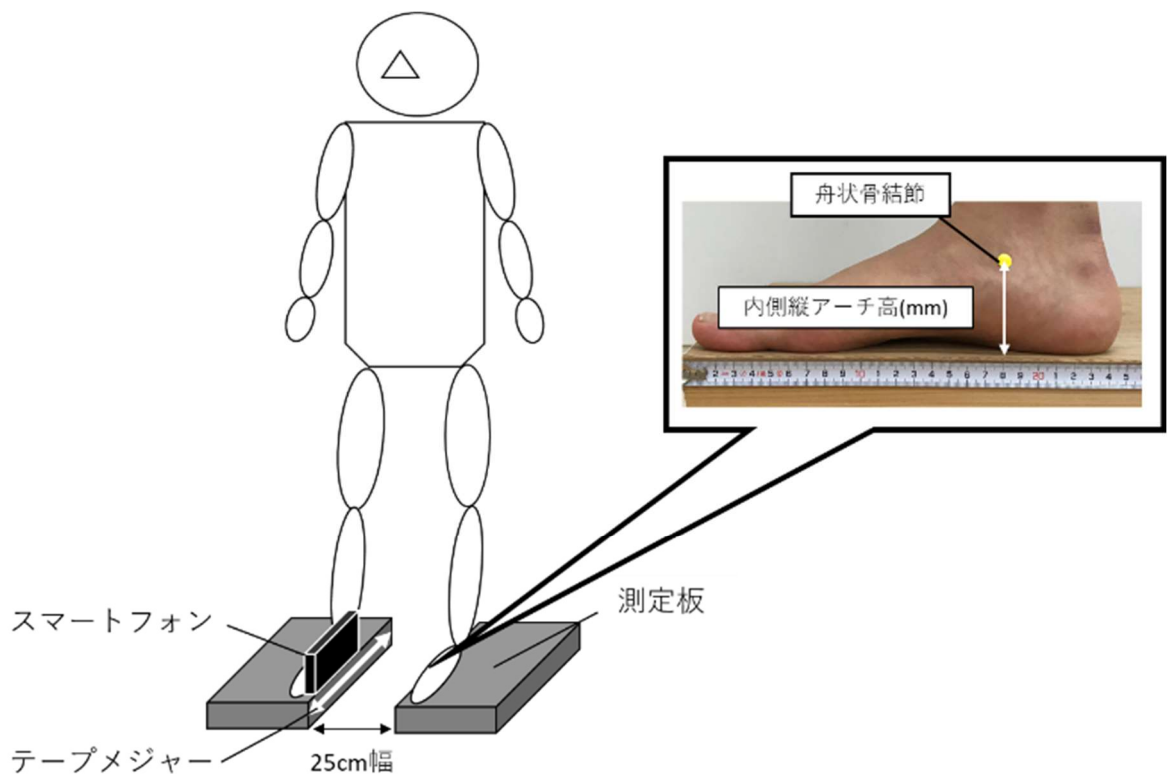


図 1-1 内側縦アーチ高率の撮影方法と定義

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。



#### 2-2-3-1-2. 足趾角および開張角, 足幅/足長比

足趾角および開張角の計測は、清水他（2010, 2013）の方法を採用した（図 1-2）。方法は、まず両脚立位姿勢で肩幅程度に両脚を開いた状態で、A4 サイズの用紙上に片脚ずつ乗せ、直径約 2 mm のペンで足部外側縁をトレースし、足型を採取した。その後、足趾角および開張角の計測に必要な骨指標の位置に印をつけた。第 1 趾側角の計測は、第 1 中足骨の頭部外側および第 1 基節骨の頭部外側を直接触知した後、採取した足型に印をつけた。加えて、内果後方に床面から垂直にペンをあてがい、さらに足型に印をつけた（図 1-3 (a)）。第 1 趾側角は、第 1 中足骨の頭部外側と第 1 基節骨の頭部外側の印を結ぶ線および第 1 中足骨の頭部外側と内果後方の印を結ぶ線のなす角度とした。第 5 趾側角の計測は、第 5 中足骨の頭部外側および第 5 基節骨の頭部外側を直接触知した後、採取した足型に印をつけた。加えて、外果後方に床面から垂直にペンをあてがい、さらに足型に印をつけた（図 1-3 (b)）。第 5 趾側角は、第 5 中足骨の頭部外側と第 5 基節骨の頭部外側の印を結ぶ線および第 5 中足骨の頭部外側と外果後方の印を結ぶ線のなす角度とした。開張角は第 1 中足骨の頭部外側の印と内果後方の印を結ぶ線および第 5 中足骨の頭部外側の印と外果後方の印を結ぶ線のなす角度とした。足趾角および開張角は、いずれにおいても 1 度刻みの分度器（分度器 9 cm, 大創産業社製, 日本）を用いて、角度を計測した。計測時の最小単位は 1 度とした。足趾角の級内相関係数 (ICC (1, 1)) は第 1 趾側角 0.91, 第 5 趾側角 0.94 であり、開張角は 0.78 であった ( $p < 0.01$ )。

足幅/足長比の計測は、吉田（2015）の方法を採用した。計測には、上記に示した採取後の足型を用いた。足幅は第 1 中足骨の頭部外側と第 5 中足骨の頭部外側を結ぶ線、足長は踵先端から最も長い足趾先端を結んだ線を計測した。足幅および足長は、いずれにおいても 1 mm 刻み

の定規を用いて計測した. 級内相関係数(ICC(1, 1))は足長 0.98, 足幅 0.93 であった ( $p < 0.01$ ).

足幅/足長比は清水他 (2013) の方法を採用し, 足幅を足長で除した値の百分率を算出した.

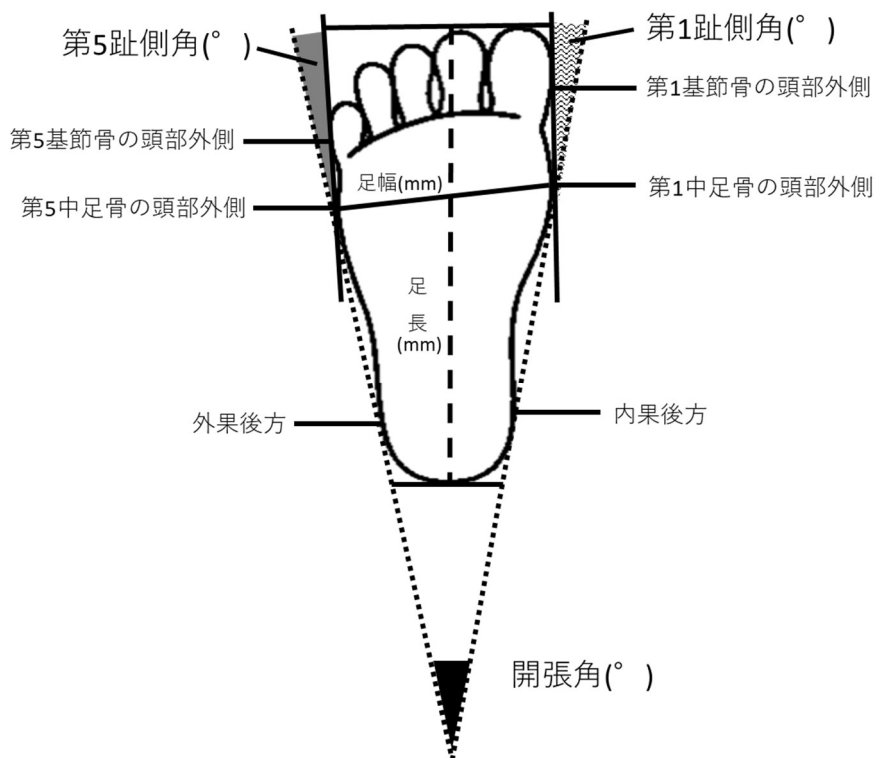


図 1-2 足趾角, 開張角, 足幅, 足長の計測箇所と定義  
足長・足幅比は, 足幅/足長 × 100 にて算出した.

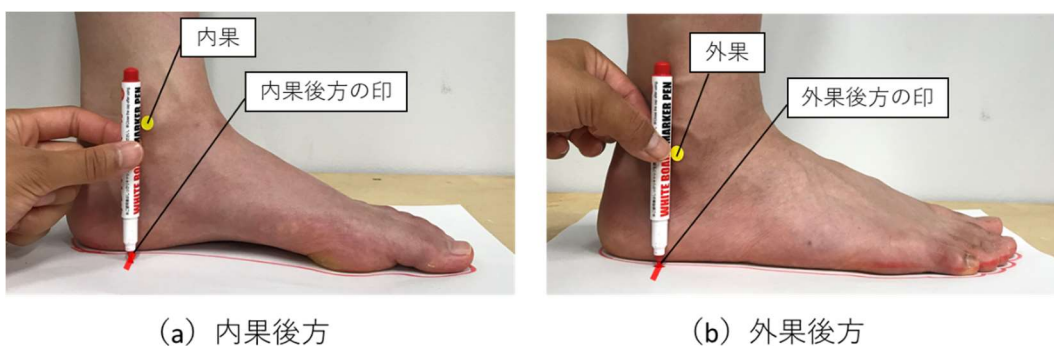


図 1-3 内果および外果後方の位置  
内果および外果後方に床面から垂直にペンをあて, 足型に印をつけた.

### 2-2-3-2. 重心動揺および最大床反力

重心動揺および最大床反力は足底圧分布計（Zebris FDM, インターリハ社製, ドイツ）を用いて, サンプルング周波数は 240 Hz で計測した. 重心動揺指標は TTS, COP 軌跡速度, 重心動揺面積を用いて検討した. 床反力は足底圧分布計のセンサーで検知した圧力の値を用い, この圧力値にセンサーの面積を乗じ, その積算で算出された値を使用した. なお, 最大床反力は鉛直方向の値を用いた. 重心動揺および最大床反力は, 3 条件を対象者ごとにランダムに測定した.

#### 2-2-3-2-1. 重心動揺の解析方法

重心動揺指標について, TTS は動作開始から重心が安定するまでに要した時間と定義した. TTS の算出方法は, Dingenen et al. (2013) の方法を改変した. 動作開始の定義について, その場での片脚立位動作課題では, 両脚立位から片脚立位に変位する際に COP 位置は一度逆脚側に移動する. 両脚立位時の初期位置を交差点 (Crossing Point : 以下, CP) と定め, X 方向で逆脚側に COP が移動した後, 初めて X 方向で CP に達した瞬間を動作開始の定義とした. 前方への片脚踏み込みおよび台からの片脚踏み込み動作課題では, 初期状態で足底圧分布計には脚を乗せていない状態であるので, 足底圧分布計に測定値が記録された瞬間を動作開始と定義し, Y 方向の COP を使って TTS を算出した.

TTS の算出方法は, まず, 片脚立位保持中の COP 変位を X 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算出した. その後, X および Y 方向の COP 変位を計算し, 各方向の値が平均値  $\pm 1$  標準偏差を初めて下回った時間を TTS とした. Dingenen et al. (2013)

の報告において、両脚立位から片脚立位動作課題の標準偏差は 0.25 を用いて評価されている。重心動揺は身体の移動量が大きいほど高くなり、台からのジャンプ着地では変動が大きいため、3 標準偏差を下回った時間を用いて TTS が定義されている例もある (Fransz et al., 2015)。本研究の目的はその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作、台からの片脚踏み込み動作課題を用いてそれぞれに与える影響を比較することを意図した。先行研究で用いられてきた 0.25 標準偏差を用いた場合は台からの片脚踏み込み動作の TTS が検出できず、3 標準偏差を用いた場合にはその場での片脚立位動作の TTS が現れなかった。台からのジャンプ着地では 1 標準偏差においても検出可能である報告から (Fransz et al., 2016a)、全ての条件において同様の定義で算出可能な 1 標準偏差を用いて検討することとした。

COP 軌跡速度および重心動揺面積の算出方法は牛山他 (2008) の方法に従い、片脚立位時の COP 軌跡から軌跡速度を求めた。COP 軌跡速度は、X および Y 方向の COP 軌跡を測定時間で除した値とした。重心動揺面積は、X および Y 方向の COP 軌跡の 95% 信頼区間の楕円面積とした。COP 軌跡速度および重心動揺面積の計算式は、以下の通りである。

【COP 軌跡速度】

$$\text{COP 軌跡速度} = \sum_{n=1}^{N-1} \left\{ (X[n+1] - X[n])^2 + (Y[n+1] - Y[n])^2 \right\}^{1/2} / T.$$

※ T は測定時間 (秒) を示す。

【重心動揺面積】

$$\text{重心動揺面積} = \pi (\text{RDの平均} + 1.645 \times \text{SRD})^2$$

$$\text{※水平面のCOP動揺(RD}[n]) = \left\{ X[n]^2 + Y[n]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\text{※RDの標準偏差(SRD)} = \left\{ 1/N \sum \text{RD}[n]^2 \right\}^{1/2}$$

COP 軌跡速度については急性期と安定期に分類し（図 1-4）、重心動揺面積については安定期のみを検討した。安定期の解析区間は、TTS 以降の 5 秒間とした。最大床反力および重心動揺指標は、3 試技における平均値を用いて検討した。

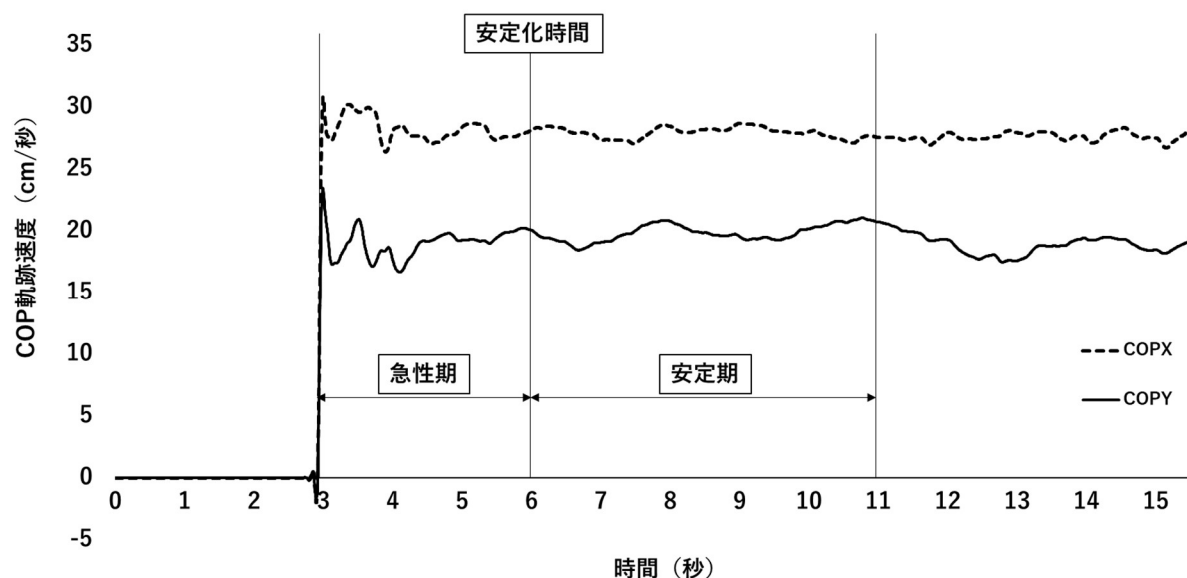


図 1-4 安定化時間と急性期および安定期の定義  
安定化時間以前を急性期，安定化時間以降の 5 秒間を安定期と定義した

### 2-2-3-3. 運動課題

3 条件による運動課題は、いずれも開眼および裸足で行った。足部アライメント指標と片脚立位動作の重心動揺指標との関係を検討した研究では、裸足条件とする報告が多く (Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Karthikeyan et al., 2015; Kim et al., 2014; Carvalho et al., 2015; Birinci et al., 2017; Beelen et al., 2020; Huang et al., 2019; Mun et al., 2019; Chimera et al., 2020; Koshino et al., 2020), 本研究においても足部アライメント指標との関係を検討することを目的とし、靴の影響を除外する必要があることから、裸足条件と設定した。

運動課題を遂行する際には、足底圧分布計から前方 3 m、床面から高さ 1.7 m に位置した×印を見ながら行うように指示した。いずれの運動課題においても 3 試技ずつ行い、各試技の順番は対象者毎にランダムとした。

#### 2-2-3-3-1. その場での片脚立位動作

その場での片脚立位動作は、まず、足底圧分布計の上で両脚立位を取らせ、両手を胸の前に握らせた後、計測者の合図とともに片脚を挙上し、対象者の主観で出来る限り早く姿勢を安定させるように指示した。測定はステップ脚とし、片脚での立位保持期間は 15 秒間とした

(図 1-5；条件 I)。

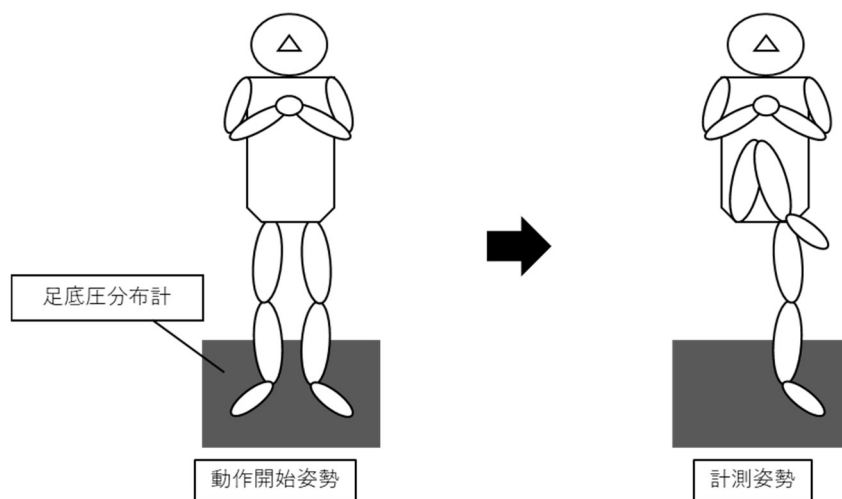


図 1-5 その場での片脚立位動作：条件 I  
計測者の合図とともに片脚を挙上し、ステップ脚で片脚立位を保持した。

### 2-2-3-3-2. 前方への片脚踏み込み動作

前方への片脚踏み込み動作は、足底圧分布計の外で両脚立位姿勢をとり、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脚を踏み込ませた。踏み込み動作と同時に非踏み込み脚は浮かせ、ステップ脚のみに荷重した姿勢を 10 秒間保持し、両上肢を下垂位にて測定した（図 1-6；条件 II）。2-2-3-3-1. その場での片脚立位動作と同様に、片脚立位を保持する際には、対象者の主観で出来る限り早く姿勢を安定させるように指示した。

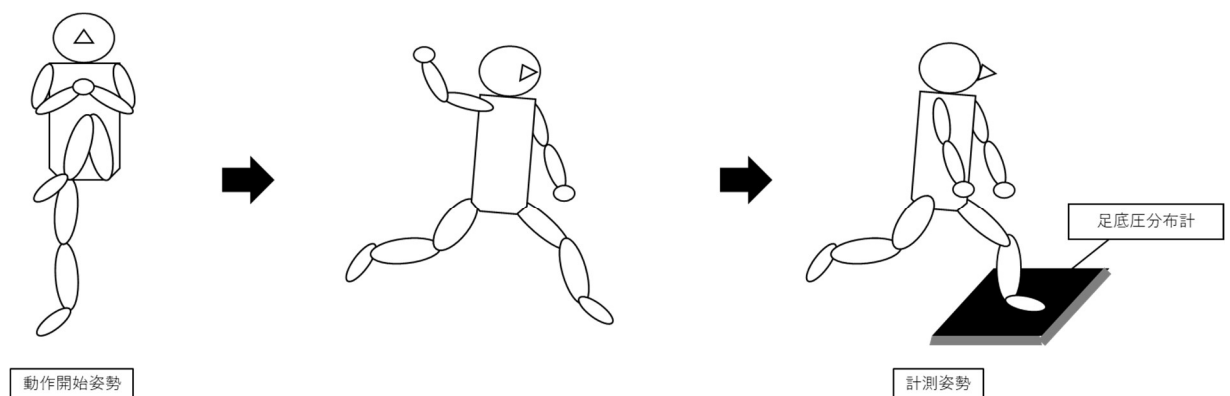


図 1-6 前方への片脚踏み込み動作：条件 II

計測者の合図で開始姿勢をとり、キャッチボール動作をイメージしながら、足底圧分布計にステップ脚を踏み込ませ、ステップ脚のみに荷重した姿勢で計測した。

### 2-2-3-3-3. 台からの片脚踏み込み動作

台からの片脚踏み込み動作では、高さ 30cm 台（プライオボックス（ジャンプボックス）, KETTLEBELLKON（ケトルベル魂）社製、日本・アメリカ）の上で両脚立位姿勢をとり、2-2-3-3-2. 前方への片脚踏み込み動作の運動課題と同じ要領で、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

底圧分布計に脚を踏み込ませた。踏み込み動作と同時に非踏み込み脚は浮かせ、ステップ脚のみに荷重した姿勢を 10 秒間保持し、両上肢を下垂位にて測定した (図 1-7 ; 条件 III)。2-2-3-3-1. その場での片脚立位動作および 2-2-3-3-2. 前方への片脚踏み込み動作課題と同様に、片脚立位を保持する際には、対象者の主観で出来る限り早く姿勢を安定させるように指示した。

本運動課題は、投手および野手が守備の際にステップ脚にかかる負荷を再現することを意図した。台の高さについては、投手板がホームプレートより 25.4 cm 以上の高さに設置されている (齊藤他, 2020) ことや、台からの着地動作と重心動揺に関する先行研究では高さ 30cm 台が使用されていた (Fransz et al., 2014) ことから、30cm と設定した。

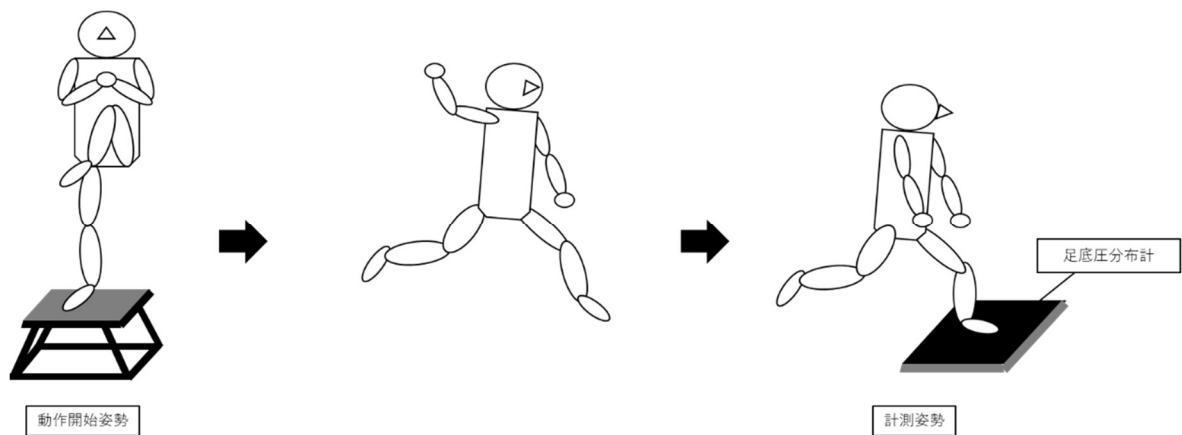


図 1-7 台からの片脚踏み込み動作 : 条件Ⅲ  
計測者の合図で 30cm 台の上で開始姿勢をとり、キャッチボール動作をイメージしながら、足底圧分布計にステップ脚を踏み込ませ、ステップ脚のみに荷重した姿勢で計測した。



#### 2-2-3-4. 統計解析

全ての測定値は、平均値±標準偏差で示した。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最大床反力、TTS、X および Y 方向の COP 軌跡速度、重心動揺面積の 3 条件の比較には、正規分布に従うデータを一元配置分散分析、正規分布に従わないデータを Kruskal-Wallis 検定によって行なった。足部アライメント指標と 3 条件における最大床反力、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なった。有意水準はいずれにおいても 5%未満を有意差ありと判定した。

#### 2-3. 結果

対象者の体格および足部アライメント指標を表 2-1 に示す。

3 条件における最大床反力は、条件 I, II と比べて条件 III が有意に高値を示したが、条件 I と条件 II との間に有意な差は認められなかった（図 1-8）。

安定化時間は、条件 II と比べて条件 I および条件 III が有意に高値を示したが、条件 I と条件 III との間に有意な差は認められなかった（図 1-9）。

急性期の COP 軌跡速度（X 方向）は条件 I で有意に低値を示し、次いで条件 II, 条件 III の順であり、3 条件の間に有意な差が認められた（図 1-10； $p<0.01$ ）。急性期の COP 軌跡速度

（Y 方向）は条件 I が有意に低値を示し、次いで条件 II, 条件 III の順であり、3 条件の間に有意な差が認められた（図 1-11； $p<0.01$ ）。

安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) は, 条件 I と比べて条件 II および条件 III が有意に高値を示したが, 条件 II と条件 III との間に有意な差は認められなかった (図 1-12 ;  $p < 0.01$ ). 安定期の COP 軌跡速度 (Y 方向) は, 条件 I と比べて条件 II および条件 III のほうが有意に高値を示したが, 条件 II と条件 III との間に有意な差は認められなかった (図 1-13 ;  $p < 0.01$ ). 安定期の重心動揺面積は, 条件 I と比べて条件 II および条件 III のほうが有意に高値を示したが, 条件 II と条件 III との間に有意な差は認められなかった (図 1-14 ;  $p < 0.01$ ).

体格および足部アライメント指標と最大床反力, 重心動揺指標との相関係数を表 2-2 に示す. 条件 I では身長と安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) ( $r = 0.351, p < 0.01$ ) および安定期の重心動揺面積との間に有意な正の相関を認めた ( $r = 0.300, p < 0.05$ ). さらに, 足長と安定期の重心動揺面積との間に有意な正の相関を認めた ( $r = 0.288, p < 0.05$ ).

条件 II では, 第 1 趾側角と最大床反力との間に有意な正の相関を認めた ( $r = 0.300, p < 0.05$ ). 重心動揺指標においては, 足幅および足幅/足長比と安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) との間に有意な正の相関を認めた (足幅 :  $r = 0.249, p < 0.05$ . 足幅/足長比 :  $r = 0.280, p < 0.05$ ).

条件 III では, 開張角と最大床反力との間に有意な正の相関を認めたが ( $r = 0.262, p < 0.05$ ), 足部アライメント指標と重心動揺指標との間には有意な相関関係は認められなかった.

表 2-1 対象者の体格および足部アライメント指標

	平均値 ± 標準偏差	95%CI*
<b>体格指標</b>		
身長(cm)	175.9 ± 5.6	( 174.5 - 177.3 )
体重(kg)	75.0 ± 9.2	( 72.7 - 77.3 )
<b>足部アライメント指標</b>		
足長(mm)	259 ± 10	( 257 - 262 )
足長(mm)/身長(mm)比(%)	15 ± 0	( 15 - 15 )
足幅(mm)	104 ± 6	( 103 - 106 )
足幅/足長比(%)	40.3 ± 2.0	( 40 - 41 )
開張角(°)	16 ± 2	( 16 - 17 )
内側縦アーチ高率(%)	14 ± 2	( 13 - 15 )
第1趾側角(°)	14 ± 5	( 13 - 15 )
第5趾側角(°)	18 ± 4	( 17 - 19 )

\* 95%CI : 95%confidence interval.

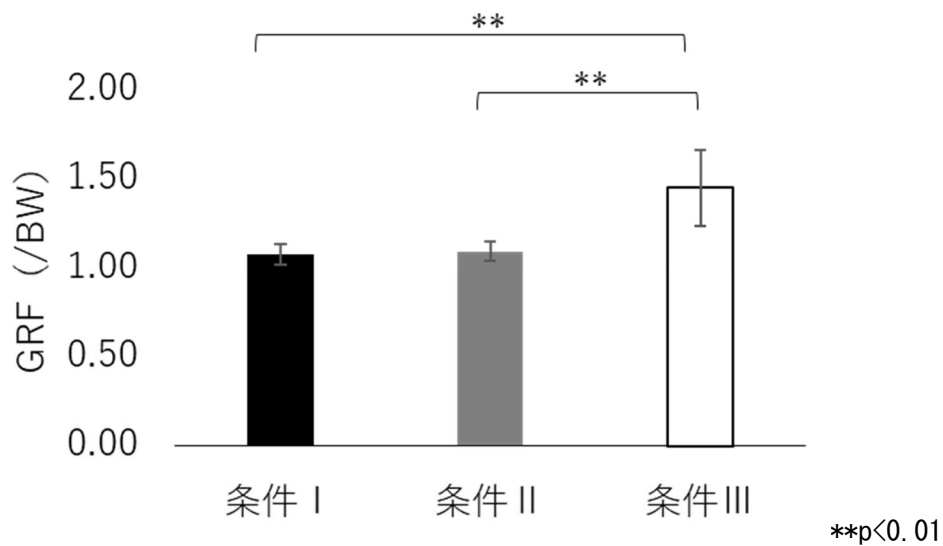


図 1-8 3 条件における最大床反力  
 条件 I : その場での片脚立位動作, 条件 II : 前方への片脚踏み込み動作,  
 条件 III : 台からの片脚踏み込み動作

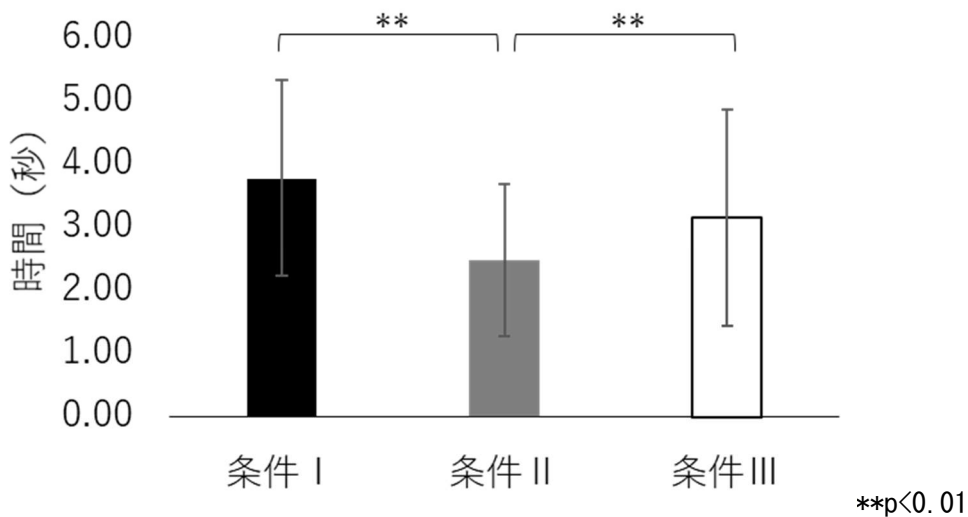


図 1-9 3 条件における安定化時間  
 条件 I : その場での片脚立位動作, 条件 II : 前方への片脚踏み込み動作,  
 条件 III : 台からの片脚踏み込み動作

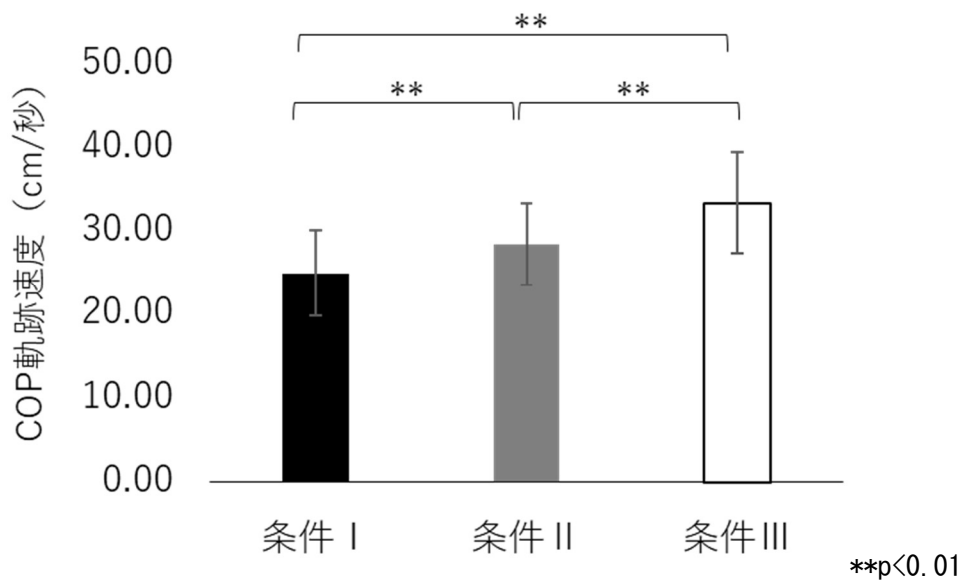


図 1-10 3条件における急性期の COP 軌跡速度 (X 方向)  
 条件Ⅰ：その場での片脚立位動作，条件Ⅱ：前方への片脚踏み込み動作，  
 条件Ⅲ：台からの片脚踏み込み動作

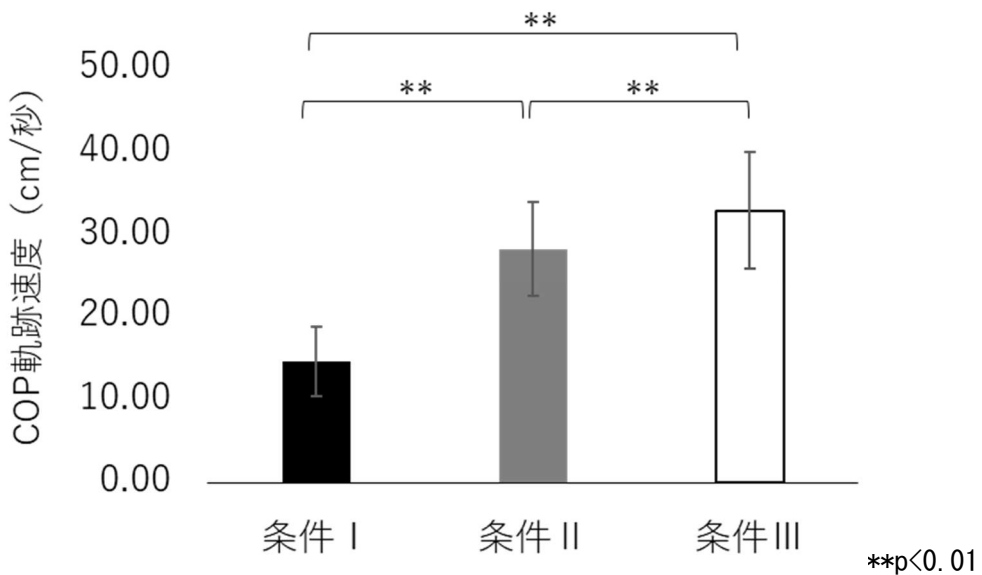


図 1-11 3条件における急性期の COP 軌跡速度 (Y 方向)  
 条件Ⅰ：その場での片脚立位動作，条件Ⅱ：前方への片脚踏み込み動作，  
 条件Ⅲ：台からの片脚踏み込み動作

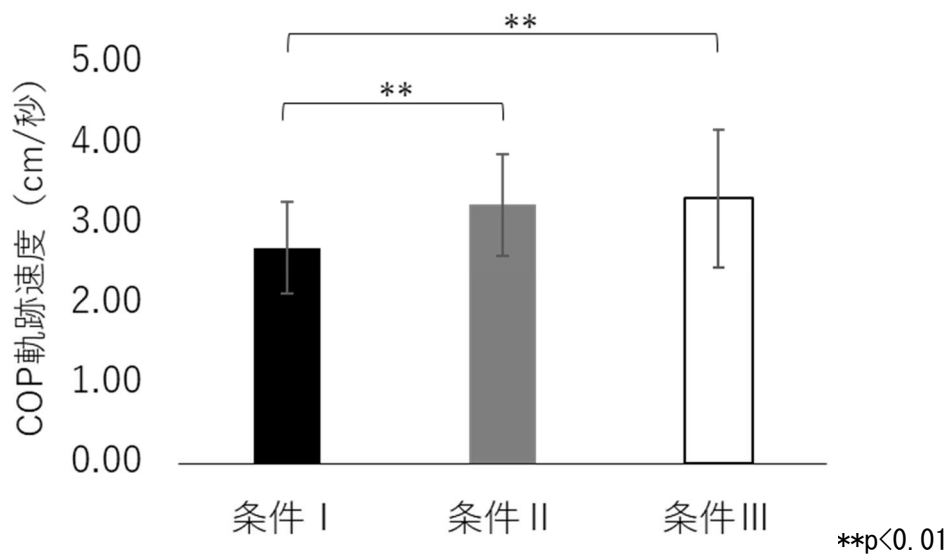


図 1-12 3 条件における安定期の COP 軌跡速度 (X 方向)  
 条件 I : その場での片脚立位動作, 条件 II : 前方への片脚踏み込み動作,  
 条件 III : 台からの片脚踏み込み動作

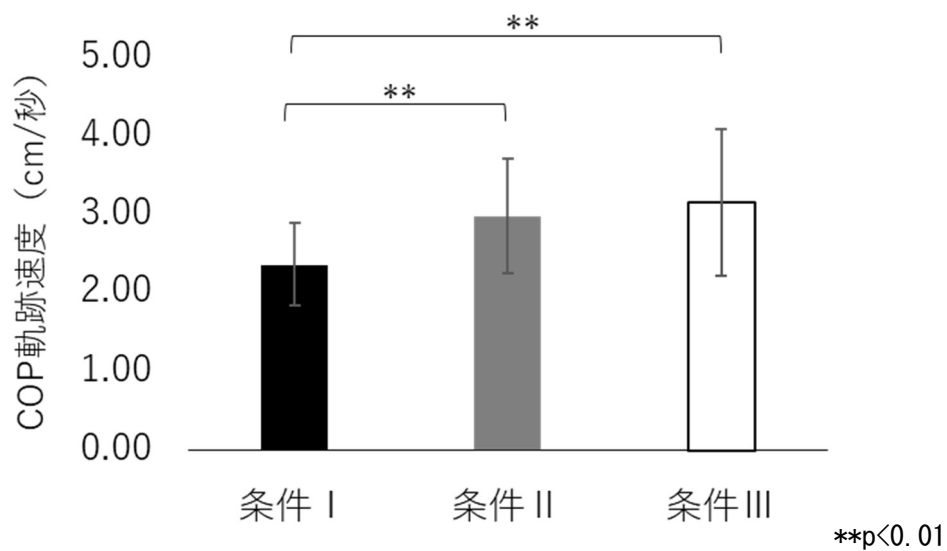


図 1-13 3 条件における安定期の COP 軌跡速度 (Y 方向)  
 条件 I : その場での片脚立位動作, 条件 II : 前方への片脚踏み込み動作,  
 条件 III : 台からの片脚踏み込み動作

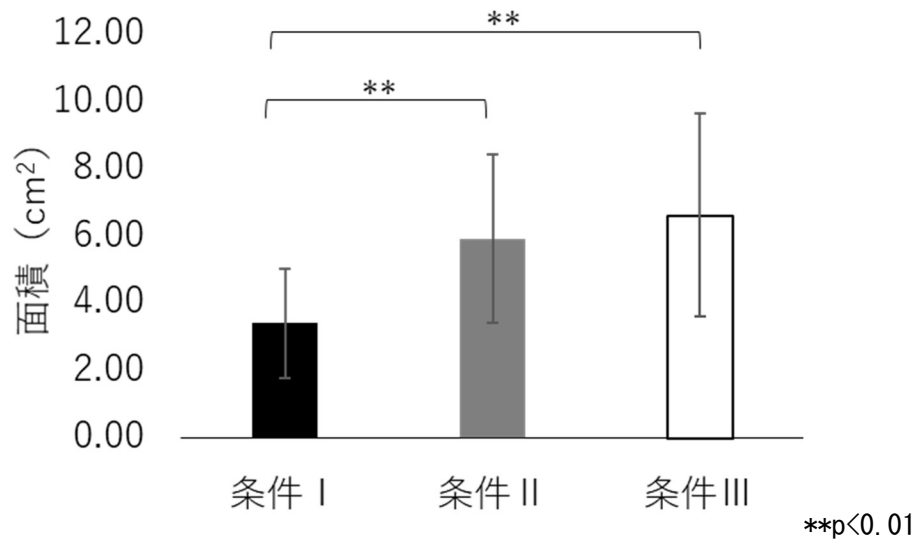


図 1-14 3 条件における安定期の重心動揺面積  
 条件Ⅰ：その場での片脚立位動作，条件Ⅱ：前方への片脚踏み込み動作，  
 条件Ⅲ：台からの片脚踏み込み動作

表 2-2 体格および足部アライメント指標と最大床反力、重心動揺指標との相関係数

	身長(cm)	体重(kg)	足長(mm)	足長/身長比(%)	足幅(mm)	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>条件 I : その場での片脚立位動作</b>										
最大床反力(/BW)	0.044	0.203	0.014	0.002	0.178	0.227	-0.034	0.108	0.154	-0.137
安定化時間	-0.144	-0.205	0.008	0.172	-0.156	-0.119	-0.143	-0.068	0.122	0.032
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.051	-0.124	0.037	0.110	-0.137	-0.171	-0.092	0.004	0.039	-0.032
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	-0.109	-0.234	0.036	0.173	-0.097	-0.121	-0.095	-0.020	0.176	-0.041
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.351	**	0.133	-0.174	0.196	0.026	0.102	0.183	-0.022	0.115
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.081		0.052	-0.057	0.126	0.093	0.037	0.194	0.024	0.202
安定期の重心動揺面積	0.300	*	0.207	0.288	*	-0.041	0.076	0.095	-0.025	0.030
<b>条件 II : 前方への片脚踏み込み動作</b>										
最大床反力(/BW)	0.032	0.088	0.085	0.146	0.155	0.235	0.212	0.135	0.300	* 0.043
安定化時間	-0.122	-0.179	0.093	0.190	-0.196	-0.242	-0.127	-0.139	-0.138	-0.020
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	0.102	0.035	0.142	0.076	0.033	-0.049	-0.055	0.101	-0.171	0.089
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.122	-0.042	0.122	0.029	0.009	-0.073	0.017	0.003	-0.046	0.074
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.169	0.098	0.018	-0.158	0.249	*	0.280	-0.045	-0.002	0.024
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.142	0.149	-0.069	-0.199	0.151	0.156	0.039	0.049	0.106	0.084
安定期の重心動揺面積	0.001	0.053	-0.099	-0.107	0.005	0.029	-0.059	0.028	0.016	0.070
<b>条件 III : 台からの片脚踏み込み動作</b>										
最大床反力(/BW)	0.04	0.074	0.109	0.033	-0.048	-0.001	0.262	0.194	-0.078	0.149
安定化時間	-0.104	0.034	-0.009	0.134	-0.033	-0.022	0.076	0.066	-0.228	0.071
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	0.087	0.145	0.152	0.110	0.128	0.037	0.128	0.211	-0.187	0.201
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.034	0.094	0.210	0.243	0.111	-0.043	0.100	-0.097	-0.112	0.103
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.177	-0.033	0.022	-0.078	0.139	0.094	0.083	-0.014	0.108	0.147
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.148	-0.014	-0.003	-0.108	0.138	0.085	-0.021	0.063	0.153	0.012
安定期の重心動揺面積	0.121	0.032	-0.009	-0.037	0.238	0.225	-0.037	0.071	0.137	-0.105

\* COP : center of pressure

\*\* \*p<0.05, \*\*p<0.01



#### 2-4. 考察

本研究では、急性期は足部への負荷が高まるほど重心動揺が不安定な結果を示したが、安定期においては前方への片脚踏み込み動作（条件 II）と台からの片脚踏み込み動作（条件 III）で重心動揺指標に有意な差が認められなかった。各条件における身体重心はその場での片脚立位動作（条件 I）が左右方向の移動、条件 II は前方への移動、条件 III は前方および下方に移動する（池上他, 2004）。急性期はいずれの条件においても動作直後となり、身体重心の移動量が重心動揺に影響を与えることが推測される。最大床反力は台からの片脚踏み込み動作が最も大きく（図 1-8）、身体重心の移動量に伴い、足部への衝撃力が高まることが示されている。片脚ジャンプにおいて、着地後約 2 秒間の足部への衝撃力は COP 軌跡速度や軌跡長に影響を与え、衝撃が大きいほど重心動揺が大きくなる（Kawakami et al., 2015; Frasz et al., 2016b）。本研究結果において、足部への衝撃力が高まるほど COP 軌跡速度が有意に高値を示した期間は着地後約 2 秒～4 秒であり、足部への衝撃力が COP 軌跡速度に影響を与えた可能性が考えられる。急性期において足部への負荷が高まるほど不安定な結果を示したことは、身体重心の移動量に伴う足部への衝撃が重心動揺に影響を与えた可能性が推測された。

安定期においては、その場での片脚立位動作（条件 I）が最も低値を示し、前方への片脚踏み込み動作（条件 II）と台からの片脚踏み込み動作（条件 III）で重心動揺指標に有意な差が認められなかった。安定期では条件 I の身体重心は左右方向へ移り、COP も左右方向へ移動した後、支持基底内に収まり、安定化すると考えられる。急性期の COP 軌跡速度（Y 方向）を 3 条件で比較した結果（図 1-11）によると、条件 I は最も低値を示し、条件 II と条件 III と比べて、前後方向への動揺が少ないことがわかる。安定期においてもその場での片脚立位動作が最

も低値を示したことは、急性期での前後方向の動揺が少ないことが安定期の重心動揺にも影響を与え、TTS 以降も安定性を保ち続けていたためと推察できる。安定期において条件Ⅱと条件Ⅲにおいて有意な差が認められなかったこと（図 1-12, 図 1-13）について、先行研究において、台から着地する際には、着地後の衝撃に備えるために、体幹部や下肢 3 関節を屈曲する準備動作が出現するとされる（Devita et al., 1992; Santello et al., 2005; 小笠原他, 2016; 大路他, 2017）。本研究においても台からの片脚踏み込み姿勢を保持する前には、体幹部や下肢関節が着地時の上下動に対して準備し、身体動揺を補正していた可能性があり、これが安定期の重心動揺に影響を与えたと推測される。しかしながら、本研究では着地前の動作に対する評価は行っていないため、今後調査する必要がある。

足部アライメント指標と重心動揺指標との関係については、前方への片脚踏み込み動作（条件Ⅱ）においてのみ安定期の COP 軌跡速度（X 方向）と足幅および足幅/足長比との相関関係が認められたが、台からの片脚踏み込み動作（条件Ⅲ）ではいずれの項目においても有意な相関関係は認められなかった。歩行時において、立脚期の約 75%経過時には第 3~5 中足骨レベルの横アーチが広がり、その後第 1・2 中足骨レベルの横アーチに荷重し（山口, 1992）、時間の経過に伴い前足部への荷重の位置や量が変化するとされる。前方への片脚踏み込み動作は歩行動作と同様に、身体重心を前方に移動させることから、前方への移動後片脚立位を保持している期間に前足部横アーチの荷重位置や量が何らかの変化をした可能性が推測される。また、フォワードランジ動作では、前脚接地時に床反力前方成分が発生するとされる（木村他, 2004）。安定期において、前方への片脚踏み込み動作の COP 軌跡速度（X 方向）と足幅/足長比との間

に関係性が認められたことは、前方への移動後の重心の揺らぎに対して、前足部横アーチの荷重量が変化し、床反力前方成分に対して姿勢を調節するために前足部横アーチを維持する筋や第1～5趾が機能したことが影響した可能性が推察された。しかしながら、歩行は約1.4秒で1サイクルを終える動作であり、立脚中期以降はわずか0.5秒程度である(Simoneau et al., 2019)。本研究において、COP軌跡速度(X方向)と足幅/足長比との関係が認められた期間は前方への片脚踏み込み後2～7秒間であり、歩行動作とは大きく異なる。さらに、前方への片脚踏み込み姿勢を保持している間の前足部横アーチの荷重位置や量、床反力成分は評価することができなかつたため、今後検討が必要である。

台からの片脚踏み込み動作(条件Ⅲ)においては、足部アライメント指標との相関関係は急性期および安定期のいずれの重心動揺指標においても認められなかつた(表2-2)。このことには、台からの片脚踏み込み姿勢を保持する前には、上下方向の動揺に対して体幹部や下肢関節が準備し、着地時の上下動を補正していたことが影響した可能性が考えられる。台の高さやジャンプ方向を変化させた先行研究によると、膝関節外反角(Sinsurin et al., 2013)や股関節屈曲および内外転角(Azevedo et al., 2019)、足関節底背屈および後足部角(Kunugi et al., 2020)の変化が認められ、特に股関節や足関節が姿勢制御に影響を与えるとされる(Lee et al., 2014; Winter et al., 1998; Trajković et al., 2021)。足部アライメント指標との相関関係が認められなかつたことは、衝撃力が大きい着地動作の場合には足部より上位関節が安定性に影響を与えたと推測されるが、着地時の下肢関節角度は評価できなかつたため、今後の課題である。

## 2-5. 小括

本研究はその場での片脚立位動作と前方へ片脚で踏み込む動作において、1) 足部への負荷を高めた条件下での急性期と安定期の重心動揺に与える影響、および2) 各条件における重心動揺指標と足部アライメント指標との関係を明らかにすることを目的とした。本研究の結果より次のことが明らかとなった。

- 1) 急性期の重心動揺は、足部への負荷が高まるほど不安定な結果を示した。
- 2) 安定期の重心動揺は、台から前方へ踏み込んだことによる負荷は影響しなかった。
- 3) 前方への片脚踏み込み動作は安定期の 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を示し、前足部横アーチが低下するほど不安定な結果を示した。
- 4) 安定期の重心動揺と内側縦アーチ高率とは、相関関係が認められなかった。
- 5) 台からの片脚踏み込み動作では、急性期と安定期の重心動揺指標と足部アライメント指標との間に相関関係を示さなかった。

以上のことから、前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢は足部への負荷は急性期の重心動揺に影響を与えるが、安定期の重心動揺には影響しないことが明らかとなった。さらに、前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢は安定期の重心動揺と前足部横アーチが関係し、足部への負荷を高めても急性期と安定期の重心動揺に足部アライメントは影響しないことが明らかとなった。

### 第3章 野球選手の投球習慣が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係 に与える影響（研究課題Ⅱ）

#### 3-1. はじめに

いくつかの競技スポーツでは、競技特有の動作やポジションが片脚立位動作の安定性の左右差に影響を与えることが指摘されている。陸上競技選手 (Knight et al., 2016) やテニス選手は利き脚 (ボールを蹴る側の脚) のほうで安定性が高く (Kozinc et al., 2021a), サッカー選手は非利き脚 (ボールを蹴る際の立脚脚) のほうで安定性が高いと報告されている (King et al., 2017; Jadcak et al., 2019; Meiners et al., 2020)。また、ハードル選手において、リード脚が両側の選手は一側の選手と比べて、左右両脚の安定性が高いとされる (Wojciechowska-Maszkowska et al., 2020)。野球選手のステップ脚は、軸脚と比較して片脚立位動作の COP 軌跡長が低値を示し (大谷他, 1990), 競技やトレーニング習慣が片脚立位動作の重心動揺の左右差に影響を与えらる。特に、野球選手はグラブを片手にはめることで投球腕が一側に固定されているため、投球習慣が重心動揺の左右差に顕著に影響を与えることが推測される。

スポーツ選手における片脚立位動作の重心動揺の左右差は、ポジションの影響も受ける。ラグビー競技ではバックスの選手はフォワードの選手と比較して、左右両脚の安定性が高く、特に利き脚のほうで安定性が高いと報告されている (Brown et al., 2018)。サッカー競技では、ミッドフィルダーの選手はディフェンダーの選手 (Pau et al., 2014) やゴールキーパーなどその他のポジション (Jadcak et al., 2019) よりも安定性が高いとされる。野球競技では、内野手は投手と比べて利き脚の YBT のスコアが高いとされる (Ryu et al., 2019)。

野球競技において、投球時には投手は軸脚で投手板 (プレート) を踏みながら、傾斜があるマウンド上からステップ脚を大きく踏み込んだ状態で捕手方向へ投球することが要求される。

一方、野手は助走をつけた投球や体勢が崩れた状態での投球機会が多く、捕球後可能な限り短時間で投球するために軸脚からステップ脚へ重心移動を素早く行うことが必要となる。投手の投球動作において、両脚立位から軸脚での片脚立位を保持するまでに要する時間は約1秒（田中他, 2012）であり、両脚立位から軸脚での片脚立位へ移行した後、捕手方向へステップ脚を踏み込み、ステップ脚の足部接地以降ボールリリースまでの時間も約1秒（田中他, 2012）であることから、軸脚においてもステップ脚においても片脚立位時に素早く重心を安定させる必要がある。

野球選手はポジションによって投球時の軸脚およびステップ脚にかかる負荷が異なる可能性があるが、このような野球選手の投球習慣が軸脚およびステップ脚の片脚立位動作の重心動揺に与える影響は検討されていない。さらに、投球時に多用される前方へ片脚で踏み込む動作に対して、重心動揺を評価した報告も認められない。Ryu et al. (2019) は野球選手のバランスの左右差をポジション別で検討しているが、これは YBT を用いて評価し、投球時の動作特性を反映した運動課題および指標で検討されていないため、実践の場へ応用することができない。

足部アライメントはその場での片脚立位動作、両脚立位から片脚立位動作の重心動揺に影響を与えるとされるが（Hertel et al., 2002; Cobb et al., 2014; Irez, 2014; Saghadzadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Birinci et al., 2017; Mun et al., 2019; Beelen et al., 2020; Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019; Koshino et al., 2020), 前方への片脚踏み込み動作において、重心動揺指標と足部アライメント指標との関連性を検討した報告は認められない。さらに、野球選手における軸脚およびステップ脚の片脚立位動作の

重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響も明らかにされていない。

そこで、本研究では、野球選手の投球習慣が軸脚とステップ脚のその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の重心動揺に与える影響をポジション別で検討することとした。加えて、投球時の軸脚およびステップ脚の重心動揺指標と足部アライメント指標との関係について明らかにすることを目的とした。

### 3-2. 方法

#### 3-2-1. 対象

対象は硬式野球部に所属する男子大学生 106 名（年齢  $20.0 \pm 1.0$  歳，身長：投手  $178.2 \pm 5.6$  cm，野手  $174.2 \pm 5.4$  cm，体重：投手  $75.5 \pm 8.3$  kg，野手  $73.2 \pm 7.8$  kg，平均値  $\pm$  標準偏差）とした。対象者のポジションは投手 31 名，野手 75 名（捕手 9 名，内野手 16 名，外野手 50 名）であり，投手は右投 26 名，左投 5 名，野手の投打側は右投右打 44 名，左投左打 5 名，右投左打 26 名であった。右投左打の選手においても投球時の軸脚およびステップ脚を採用した。なお，両手投げや両打ち（スイッチヒッター）の選手はおらず，また，投手と野手の両ポジションを兼任している選手はいなかった。対象者の野球歴は，6 年以上 1 名（投手 1 名），7 年以上 2 名（投手 0 名，野手 2 名），8 年以上 3 名（投手 1 名，野手 2 名），9 年以上 5 名（投手 3 名，野手 2 名），10 年以上 17 名（投手 4 名，野手 13 名），11 年以上 33 名（投手 12 名，野手 21 名），12 年以上 45 名（投手 10 名，野手 35 名）であった。調査当時の 1 回当たりの競技実施時間は 3～6 時間であり，1 週間に 6 回の頻度で競技を実施していた。対象チームの練習内容は監督およびコーチから聴取し，投手は投球および守備練習を行い，打撃練習を行う者は存在

しなかった。野手においては投球練習を行わず、守備および打撃練習を行っていた。

ポジションにより投手群と野手群（捕手、内野手、外野手）に分け、軸脚およびステップ脚における測定結果を群間で比較、検討した。対象者の選定基準は計測時に外傷・障害や疼痛がなく、視力障害や神経性障害のない者とし、これらの要因により計測時に支障が出る者は対象者から除外した。

本実験はヘルシンキ宣言および個人情報保護法に基づき、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、個人情報を厳重に管理し、個人が特定されないこと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。

### 3-2-2. 研究プロトコル

すべての対象者に対して、足部アライメント、その場での片脚立位動作および前方への片脚踏み込み動作の重心動揺を測定した。測定の順番は、まず初めに足部アライメントを測定した後、2条件における重心動揺を測定した。全評価項目の測定は、全て同一検者が実施した。本研究課題では投球時の軸脚およびステップ脚の重心動揺に野球競技の投球習慣が与える影響を検討することを目的としたため、投球時における軸脚とステップ脚を測定した。

### 3-2-3. 測定項目

#### 3-2-3-1. 足部アライメント

足部アライメントについては、2-1. 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係における足部アライメント 2-2-3-1. と同一の手順により実施した。



### 3-2-3-2. 重心動揺

重心動揺は足底圧分布計(Zebris FDM, インターリハ社製, ドイツ)を用いて, サンプルング周波数は 240 Hz で計測した. 重心動揺指標は TTS, COP 軌跡速度, 重心動揺面積を用いて検討した.

### 3-2-3-3. 重心動揺の解析方法

重心動揺の解析方法は 2-1. 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係における解析方法 2-2-3-2-1. と同一の方法を実施したが, 本研究課題では COP 軌跡速度および重心動揺面積については, 対象者ごとに TTS 以降の最も重心が安定した期間を検討した.

### 3-2-3-4. 運動課題

運動課題は, 2-1. 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係における運動課題 2-2-3-3. および 2-2-3-3-1. その場での片脚立位動作, 2-2-3-3-2. 前方への片脚踏み込み動作と同一の方法を実施した. 本研究課題では, その場での片脚立位動作は投球時の軸脚とステップ脚の両方を検討し, 前方への片脚踏み込み動作はステップ脚のみを測定した.

### 3-2-3-5. 統計解析

全ての測定値は, 平均値±標準偏差で示した. 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。軸脚およびステップ脚の足部アライメント指標と重心動揺指標の投手群と野手群における比較については、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 検定によって行なった。投手群および野手群の軸脚とステップ脚の足部アライメント指標と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なった。有意水準はいずれにおいても 5%未満を有意差ありと判定した。

### 3-3. 結果

軸脚およびステップ脚の足部アライメント指標と重心動揺指標に対するポジションの比較を表 3-1 に示す。

軸脚の足部アライメント指標は、足長を除いた全ての項目（第 1 趾側角、第 5 趾側角、内側縦アーチ高率、足幅、開張角、足幅/足長比）において投手群と野手群の間に有意な差は認められなかった。足長は、投手群において有意に長い数値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.22$ )。

条件 I での重心動揺指標は、重心動揺面積を除いた全ての項目において投手群と野手群の間に有意な差は認められなかった。重心動揺面積は、投手群において有意に低値を示した ( $p < 0.01$ ,  $r = 0.26$ )。

ステップ脚の足部アライメント指標は、足長および足幅/足長比を除いた全ての項目（第 1 趾側角、第 5 趾側角、内側縦アーチ高率、足幅、開張角）において、投手群と野手群の間に有意な差は認められなかった(表 3-1)。足長は、投手群において有意に長い数値を示した( $p < 0.01$ ,  $r = 0.28$ )。足幅/足長比は、投手群において有意に低値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.23$ )。

条件 I での重心動揺指標は、重心動揺面積を除いた全ての項目において投手群と野手群の間に有意な差は認められなかった。重心動揺面積は、投手群において有意に低値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.22$ )。条件 II での重心動揺指標において、重心動揺面積は、投手群において有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = -0.23$ )。COP 軌跡速度は、投手群において有意に高値を示した ( $p < 0.01$ ,  $r = -0.36$ )。安定化時間は、投手群と野手群の間に有意な差は認められなかった。

投手および野手の足部アライメント指標と重心動揺指標との相関係数を表 3-2 に示す。

軸脚において、投手群および野手群いずれのポジション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認められなかった。ステップ脚において、投手群は足幅および足幅/足長比と条件 II の安定化時間との間に有意な正の相関を示したが (足幅 :  $r = 0.406$ ,  $p < 0.05$ , 足幅/足長比 :  $r = 0.471$ ,  $p < 0.01$ )、野手群においては有意な相関関係は認められなかった。野手群は、足幅と条件 I の重心動揺面積との間に有意な正の相関を示した (足幅 :  $r = 0.230$ ,  $p < 0.05$ )。

表 3-1 軸脚・ステップ脚の足部アライメント指標と重心動揺指標に対するポジションの比較

	軸脚				ステップ脚			
	投手群(n=31)	野手群(n=75)	群間	効果量(r)	投手群(n=31)	野手群(n=75)	群間	効果量(r)
<b>足部アライメント指標</b>								
足長(mm)	263 ± 10	257 ± 11	*	0.22	264 ± 10	257 ± 11	**	0.28
足長(mm)/身長(mm)比(%)	15 ± 17	15 ± 20	n.s	0.15	15 ± 17	15 ± 21	n.s	0.13
足幅(mm)	105 ± 5	105 ± 6	n.s	0.06	105 ± 5	105 ± 6	n.s	0.01
足幅/足長比(%)	40.0 ± 1.6	40.7 ± 1.8	n.s	0.16	39.7 ± 1.9	40.7 ± 1.9	*	0.23
開張角(°)	17 ± 3	16 ± 3	n.s	-0.17	16 ± 3	16 ± 3	n.s	-0.08
内側縦アーチ高率(%)	16 ± 3	16 ± 3	n.s	0.11	15 ± 3	15 ± 3	n.s	0.06
第1趾側角(°)	13 ± 6	14 ± 5	n.s	0.12	13 ± 6	15 ± 5	n.s	0.16
第5趾側角(°)	20 ± 5	19 ± 5	n.s	-0.01	17 ± 4	18 ± 4	n.s	-0.06
<b>条件Ⅰ：その場での片脚立位動作</b>								
安定化時間(秒)	1.70 ± 0.64	1.57 ± 0.47	n.s	-0.08	1.61 ± 0.44	1.70 ± 0.47	n.s	0.08
COP軌跡速度(cm/秒)	4.09 ± 1.19	3.95 ± 1.03	n.s	-0.05	3.93 ± 1.04	3.70 ± 0.70	n.s	-0.06
重心動揺面積(cm <sup>2</sup> )	3.22 ± 1.03	4.04 ± 1.33	*	0.26	3.10 ± 0.89	3.54 ± 1.00	*	0.22
<b>条件Ⅱ：前方への片脚踏み込み動作</b>								
安定化時間(秒)	-	-	-	-	1.49 ± 0.92	1.59 ± 1.08	n.s	-0.02
COP軌跡速度(cm/秒)	-	-	-	-	4.49 ± 1.23	3.60 ± 0.72	**	-0.36
重心動揺面積(cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	4.24 ± 1.64	3.48 ± 1.37	*	-0.23

※COP : center of pressure.

※n.s : not significant

※\*\*p<0.01 \* p<0.05

表3-2 投手群および野手群の足部アライメント指標と重心動揺指標との相関係数

	投手群 (n=31)										野手群 (n=75)													
	軸脚					ステューズ脚					軸脚					ステューズ脚								
	足長(mm)	足長/身長比(%)	足幅(mm)	足幅/足長比(%)	間張角(°)	内側傾アーチ高率(%)	第1趾屈角(°)	第5趾屈角(°)	足長(mm)	足長/身長比(%)	足幅(mm)	足幅/足長比(%)	間張角(°)	内側傾アーチ高率(%)	第1趾屈角(°)	第5趾屈角(°)	足長(mm)	足長/身長比(%)	足幅(mm)	足幅/足長比(%)	間張角(°)	内側傾アーチ高率(%)	第1趾屈角(°)	第5趾屈角(°)
<b>条件I：その場での片脚立位動性</b>																								
安定化時間	-0.002	-0.215	-0.056	-0.156	-0.029	-0.285	-0.052	0.172	-0.043	-0.041	-0.103	-0.061	-0.144	-0.064	-0.125	-0.237	0.085	0.178	-0.072	-0.157	-0.088	0.028	0.070	0.083
COP軌跡速度	0.009	-0.268	0.096	0.018	0.174	0.018	0.146	0.171	0.074	-0.087	0.095	0.008	0.349	-0.044	0.003	0.000	-0.050	-0.033	0.133	0.187	-0.009	-0.027	-0.008	-0.050
重心動揺面積	-0.175	-0.408	* 0.047	0.128	0.165	0.160	0.144	0.253	0.222	0.271	-0.009	-0.195	0.253	-0.054	0.136	0.103	-0.038	0.127	0.230	* 0.153	-0.088	-0.023	-0.119	-0.021
<b>条件II：前方への片脚踏み込み動性</b>																								
安定化時間	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.038	-0.251	0.406	*	0.471	**	0.266	0.183	-	-	0.124	-0.055	0.345	0.001	-0.054	-0.127
COP軌跡速度	-	-	-	-	-	-	-	-	0.151	0.069	0.124	-	0.345	-	-0.054	-0.127	-	-	0.113	-0.055	0.291	0.245	0.115	0.067
重心動揺面積	-	-	-	-	-	-	-	-	0.218	0.249	0.113	-	0.291	-	0.115	0.067	-	-	0.113	-0.055	0.291	0.245	0.115	0.067
※COP：center of pressure. **p<0.01, * p<0.05																								
<b>条件I：その場での片脚立位動性</b>																								
安定化時間	-0.039	0.077	-0.071	-0.045	0.052	-0.063	0.140	-0.094	0.085	0.178	-0.072	-0.157	-0.088	0.028	0.070	0.083	-0.050	-0.033	0.133	0.187	-0.009	-0.027	-0.008	-0.050
COP軌跡速度	-0.050	0.036	-0.001	0.118	0.222	-0.050	-0.095	-0.020	-0.042	-0.012	0.133	0.187	-0.009	-0.027	-0.008	-0.050	-0.033	-0.033	0.133	0.187	-0.009	-0.027	-0.008	-0.050
重心動揺面積	-0.033	-0.018	-0.039	-0.006	0.058	0.027	0.015	-0.006	0.127	0.104	0.230	*	0.153	-0.023	-0.119	-0.021	-0.038	0.127	0.230	* 0.153	-0.088	-0.023	-0.119	-0.021
<b>条件II：前方への片脚踏み込み動性</b>																								
安定化時間	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.122	-0.033	0.009	0.078	0.051	0.032	0.102	-0.038	-	-	-0.094	0.016	0.033	-0.044	-0.036	-0.052
COP軌跡速度	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.094	-0.142	-0.056	0.016	0.033	-0.044	-0.036	-0.052	-	-	0.053	0.016	0.033	-0.044	-0.036	-0.052
重心動揺面積	-	-	-	-	-	-	-	-	0.053	-0.051	-0.033	-0.098	-0.145	-0.091	0.155	-0.047	-	-	-0.033	-0.098	-0.145	-0.091	0.155	-0.047
※COP：center of pressure. **p<0.01, * p<0.05																								

#### 3-4. 考察

本研究では投手群は野手群と比べて、ステップ脚の足幅/足長比が有意に低値を示し、投手群においてのみステップ脚の前方への片脚踏み込み動作（条件Ⅱ）の安定化時間と足幅および足幅/足長比との間に有意な正の相関関係が認められた。その場での片脚立位動作（条件Ⅰ）では、投手群は野手群に比べて、軸脚およびステップ脚における重心動揺面積が有意に低値を示した。ステップ脚においては、野手群においてのみ重心動揺面積と足幅との間に有意な正の相関関係を認めた。前方への片脚踏み込み動作（条件Ⅱ）では、野手群は投手群に比べてステップ脚の重心動揺面積および COP 軌跡速度が有意に低値であったが、両群において足部アライメント指標との関連性は認められなかった。軸脚においてはいずれの項目においてもポジションに関わらず、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が認められなかった。

ステップ脚において、投手群は野手群と比べて足幅/足長比が有意に小さく（表 3-1）、前足部横アーチが保たれている（清水他, 2013）可能性が示唆された。また、投手群はステップ脚の前方への片脚踏み込み動作（条件Ⅱ）での安定化時間と足幅/足長比との間に有意な正の相関関係を認めた（表 3-2）。投手を対象とした先行研究において、投球時の軸脚の役割は捕手方向へ蹴出すこととされ、それに対してステップ脚は、軸脚から体幹部を介して伝達された非投球側方向への回転力に対してブレーキをかける脚とされている（Howenstein et al., 2020）。投手は主にピッチャーマウンド上で投球を行うが、投手板はホームプレートより 25.4 cm 以上の高さに設置されている（斉藤他, 2020）。そのため、投球時の軸脚にかかる負荷は体重の 1.0 倍であるのに対し、ステップ脚では体重の 1.75 倍に達すると報告されており（MacWilliams et

al., 1998), 投手においてステップ脚にかかる負荷は大きい。前方への片脚着地の際には高さが高くなるほど前足部での着地動作となり (Gerstle et al., 2007), 前脛骨筋や腓骨筋, 腓腹筋内側頭の筋活動量が増加するとされる (Gerstle et al., 2018)。本研究対象の投手は野手との兼任はしておらず, 日常の練習においても投球練習が多くを占めていた。競技特有のトレーニングや筋力トレーニングは筋反応時間を短縮させることから (与那他, 1990), 投手ではピッチャーマウンドからの投球を繰り返す習慣により, 前方への片脚踏み込み動作の際に前脛骨筋や腓骨筋, 腓腹筋の筋活動量が増加し, これらが機能する時間が短縮されていた可能性が推測される。前脛骨筋や腓骨筋は前足部横アーチの安定性に寄与することから, 投手においてのみ前方への片脚踏み込み動作の重心安定化に前足部横アーチが関係した可能性が考えられた。しかしながら, 本研究では, 前方への片脚踏み込み動作の着地時における足関節周囲筋の筋活動量は評価しておらず, ピッチャーマウンドでの前方への片脚踏み込み動作を実際に評価していないため, 不明な点が多く, 今後検討を要する。

その場での片脚立位動作 (条件 I) における重心動揺面積では, 投手群は野手群に比べて軸脚およびステップ脚における重心動揺面積が有意に低値を示した (表 3-1)。このことから投手群のその場での片脚立位動作の安定性は, 野手群に比べて高いと言える。投手の場合, 軸脚はピッチャーマウンドから投球する際にその場での片脚立位姿勢を約 1 秒間保持する (田中他, 2012)。本研究対象の投手は野手と比べて投球練習を行う機会が多いことから, ピッチャーマウンドから投球を繰り返す習慣が軸脚の安定性に反映された可能性が考えられる。

条件 I の重心動揺面積では, ステップ脚においても投手群のほうが安定している結果を示し

た(表 3-1). ステップ脚におけるその場での片脚立位動作は投球時の動作とは異なることから、投球習慣が影響した可能性は低いと考えられる。一般健常者を対象とした先行研究において、その場での片脚立位動作の安定性は脊柱起立筋の筋活動量(鈴木他, 2009)や中殿筋および大腿四頭筋筋力(村田他, 2004)、足底部感覚(横山他, 1995)、足趾把持筋力(木藤他, 2001)、内側縦アーチ高率(池内他, 2012)との関連性が報告されている。本研究において、内側縦アーチ高率と重心動揺との関連性は認められなかったことから、ステップ脚におけるその場での片脚立位動作はこれらの足部アライメントを除いた他の要因が影響したと考えられる。野球選手を対象とした研究において、比留間他(2011)は投手が野手に比べて下肢パワーが有意に高いことを報告し、光井他(2019)は、投球時の軸脚およびステップ脚の足趾筋力は投手が野手に比べて有意に高いことを報告している。投手群は野手群に比べてステップ脚の重心動揺面積が小さい結果を示したことは、投手のほうが体幹部や下肢筋力が高い可能性が推察されるが、調査していないため、不明な点が多く、今後検討する必要がある。

ステップ脚の前方への片脚踏み込み動作(条件Ⅱ)の重心動揺面積および COP 軌跡速度は、野手群が投手群よりも有意に低値であったが(表 3-1)、両群において足部アライメント指標との関連性は認められなかった(表 3-2)。ピッチャーマウンドからの投球は平地での投球に比べ、投球方向への身体重心の上下動が多く、移動距離が長いとされる(蔭山他, 2016)。しかしながら、野手が投球するのは守備機会においてのみであり、投手のように傾斜のある場所から投球する機会がほとんど認められない。本研究での運動課題は通常行なっているキャッチボール動作をイメージしながら行うように指示したが、投手は通常ピッチャーマウンドから投球する機



会が多いため、平地においても野手に比べてストライド長が長くなってしまった可能性が考えられる。本研究において、投手群に比べて野手群が前方踏み込み動作での安定性が高い結果を示したことは、測定時の投手のストライド長が長く、片脚立位時の動揺量が大きくなってしまったことが影響した可能性が考えられる。本研究では動作時のストライド長を統一しておらず、計測していなかったため、不明な点が多く、今後検討を要する。

軸脚の足部アライメント指標と重心動揺指標との間には、ポジションを問わず、いずれの項目においても有意な相関関係が認められなかった(表 3-2)。宮下他(2016)は軸脚での片脚立位姿勢の安定性には足趾や足部アーチのアライメントに加え、頭部および肩甲帯、胸椎、骨盤のアライメントや腹筋群や殿筋群などの筋力、ステップ脚側の股関節屈曲可動域など様々な要因が影響を与えると述べている。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が認められなかったことは、これら体幹部や下肢筋力などの足部アライメント以外の要因も関連することが推察される。一方、佐藤他(2016)は、軸脚の内側縦アーチが低下した投手は骨盤回旋角度が大きく、蹴り出しが早くなることを報告している。その際には内側縦アーチ指標として、両脚立位時と片脚立位時の変化量を足部アライメント指標として評価している。このことから、足部アライメント指標と動作との関連性を検討する場合には、本研究で計測した静的なアライメント指標だけでなく、変化量などの動的なアライメント指標も用いて検討する必要があると考えられ、測定時の姿勢を変更し、再度検討する必要がある。

ステップ脚の足部アライメント指標とその場での片脚立位動作(条件 I)の重心動揺指標との関連性において、野手群においてのみ重心動揺面積と足幅との間に有意な正の相関関係を認

めた (表 3-2). Mun et al. (2019) は, 健常成人を対象とした報告において, 足幅と片脚立位動作の前後方向の COP 距離には正の相関関係があると示している. 右投右打および左投左打の野手に限って, 相関を見たところ足幅と条件 I の重心動揺面積との相関関係は認められなかった ( $r=-0.142$ ,  $p=0.332$ ). 本研究対象の野手は打撃練習を中心に行うため, 右投左打の野手は投球時のステップ脚 (打球時の軸脚) でその場での片脚立位動作の安定性を図る機会が多い. 打撃動作の場合, 打撃時の軸脚 (左打選手の左脚) は前足部に荷重した後, インパクトの瞬間を迎える (平野, 2004). 右投左打の野手は打撃練習において, 打球時の軸脚前足部に荷重する機会が多いことから, 足幅と条件 I の重心動揺面積との間に関係性を示した可能性が推測される. しかしながら, 右投右打や左投左打の野手は打撃での軸脚において, その場での片脚立位動作の重心動揺指標と足部アライメント指標との関係は認められなかったことから, 本研究だけではこれらのメカニズムまでは明確に示すことができず, 打撃動作の影響については今後の課題である.

### 3-5. 小括

本研究はその場での片脚立位動作と前方へ片脚で踏み込む動作において、1) 野球選手のポジションが重心動揺へ与える影響、および2) 野球選手のポジションが重心動揺と足部アライメントとの関係へ与える影響を明らかにすることを目的とした。本研究の結果より次のことが明らかになった。

- 1) 投手は、軸脚およびステップ脚のその場での片脚立位動作の重心動揺面積が有意に低値を示した。
- 2) 野手はステップ脚において、その場での片脚立位動作および前方への片脚踏み込み動作の重心動揺面積と COP 軌跡速度が有意に低値を示した。
- 3) 投手はステップ脚の足幅/足長比が有意に小さく、前方への片脚踏み込み動作の安定化時間と足幅/足長比との間に有意な正の相関関係を認めた。
- 4) 軸脚は、いずれのポジション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相関関係を示さなかった。

以上のことから、ピッチャーマウンドから投球を繰り返す習慣がステップ脚の前足部横アーチに影響し、前方へ片脚で踏み込む動作の安定化時間と前足部横アーチとの関係に影響を与えている可能性が明らかとなった。

## 第4章 LASの既往が片脚立位動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に 与える影響（研究課題III）

### 4-1. はじめに

LASは、スポーツ外傷の中で最も多く発症するとされる（Fong et al., 2007; Swenson et al., 2009; Doherty et al., 2014）。LASの受傷後には、CAIなどの後遺障害が発生することがあり、片脚立位動作の安定性の低下（Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Leanderson et al., 1993; Goldie et al., 1994; Guskiewicz et al., 1996; Leanderson et al., 1996; Isakov et al., 1997; Perrin et al., 1997; Leanderson et al., 1999; Hertel et al., 2001; Evans et al., 2004; Lin et al., 2011; Abe et al., 2014; Gribble et al., 2009; Baier et al., 1998; Mohamadi et al., 2020; Kozinc et al., 2021b; Nunes et al., 2016; Hiller et al., 2004; Rozzi et al., 1999; Wikstrom et al., 2007; Wikstrom et al., 2010a; Wikstrom et al., 2010b; Brown et al., 2010; Kros et al., 2016）や、SEBTやYBTの遊脚側の趾先の到達距離が短くなると報告されている（Noronha et al., 2013; Steib et al., 2013; Doherty et al., 2016; Gribble et al., 2016; Attenborough et al., 2017; Fraser et al., 2020; Nakagawa et al., 2004; Gribble et al., 2004; Hertel et al., 2006; Olmsted et al., 2002; Jaber et al., 2018; McCann et al., 2017）。また、LASの後遺症として足部アライメントに異常を呈する場合がありますとされ、LAS既往者では内側縦アーチは挙上（Larsen et al., 1990; Williams 3rd et al., 2001）または低下し（Mei-Dan et al., 2005; Saki et al., 2021）、後足部においては外反（Shambaugh et al., 1991）または内反（Rubin et al., 1964; Beynnon et al., 2001; Valderrabano et al., 2006）していると報告されている。

野球競技において、下肢の外傷・障害調査では、LASが上位を占めている（山田他, 2013; Camp et al., 2017; Posner et al., 2011; Salhab et al., 2019）。野球選手の投球動作において、ス

テップ脚に LAS 受傷後の外側不安定性や足趾の外転制限など足部・足関節の機能が低下した場合には、ボールリリース時に不安定となり、上肢への負荷が高まることが指摘されている(宮下, 2012)。しかしながら、LAS の既往がステップ脚の片脚立位動作の重心動揺に与える影響は明らかにされておらず、不明な点が多い。また、先行研究では片脚立位動作の不安定性に LAS の既往が与える期間は、一定期間姿勢を保持した場合であることは示されているが、既往による影響が出現する期間や残存する期間は詳細に調査されておらず、不明な点が多い。加えて、野球選手に LAS の既往があり、足部アライメントに異常を呈した場合には、片脚立位動作がさらに不安定となる可能性が予測されるが、LAS の既往を有した野球選手の足部アライメントが片脚立位動作の安定性に与える影響においても調査されていない。

健常者では、足部アライメントがその場での片脚立位動作や両脚立位から片脚立位動作の重心動揺に影響を与えるとされる (Hertel et al., 2002; Cobb et al., 2014; Irez, 2014; Saghazadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Birinci et al., 2017; Mun et al., 2019; Beelen et al., 2020; Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019; Koshino et al., 2020)。研究課題 I において、野球選手では前方への片脚踏み込み動作の急性期の重心動揺は足部アライメント指標との関係は認められなかったが、安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) に前足部横アーチが影響する結果を示した。さらに、研究課題 II では、投手は前方への片脚踏み込み動作の TTS に前足部横アーチが関係する結果となった。これらの結果を鑑みると、LAS の既往がある野球選手においても足部アライメントが前方への片脚踏み込み動作の重心動揺に影響を与える可能性があり、急性期よりも安定期において足部アライメントの影響が顕著に

認められることが予測される。

そこで、本研究では、LASの既往がその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の急性期と安定期の重心動揺に与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることを目的とした。

## 4-2. 方法

### 4-2-1. 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，個人情報を厳重に管理し，個人が特定されないこと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。

### 4-2-2. 研究プロトコル

すべての対象者に対して，足部アライメント，その場での片脚立位動作および前方への片脚

踏み込み動作の重心動揺を測定した。測定の順番は、まず初めに足部アライメントを測定した後、2条件における重心動揺を測定した。全評価項目の測定は、全て同一検者が実施した。

#### 4-2-3. 測定項目

##### 4-2-3-1. 足部アライメント

足部アライメントについては、2-1. 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係における足部アライメント 2-2-3-1. と同一の手順により実施した。

##### 4-2-3-2. 重心動揺

重心動揺は足底圧分布計(Zebris FDM, インターリハ社製, ドイツ)を用いて, サンプリング周波数は 240 Hz で計測した。重心動揺指標は TTS, COP 軌跡速度, 重心動揺面積を用いて検討した。

##### 4-2-3-3. 重心動揺の解析方法

重心動揺の解析方法は 2-1. 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係における解析方法 2-2-3-2-1. と同一の方法を実施した。なお, 安定期については TTS から 0.5 秒間隔で区切り 3 秒までを解析区間とした。

##### 4-2-3-4. 運動課題

運動課題は、2-1. 片脚立位動作の急性期および安定期における重心動揺と足部アライメントとの関係における運動課題 2-2-3-3. および 2-2-3-3-1. その場での片脚立位動作, 2-2-3-3-2. 前方への片脚踏み込み動作と同一の方法を実施し, 両条件いずれもステップ脚のみを測定した。

#### 4-2-3-5. 統計解析

全ての測定値は、平均値±標準偏差で示した。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 および急性期の 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に対応のない 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%未満を有意差ありと判定した。

#### 4-3. 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 4-1 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認められなかった。

各条件における安定化時間と急性期の COP 軌跡速度 (X および Y 方向) の両群の比較を表 4-2 に示す。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認められなかった。

COP 軌跡速度 (X 方向) において、条件 I では捻挫群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.36$ )

が条件 II では両群間に有意な差は認められなかった。COP 軌跡速度 (Y 方向) において、条



条件 I では両群間に有意な差は認められなかったが、条件 II では健常群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.35$ ).

条件 I における安定期の重心動揺指標と両群の比較では、全ての指標において有意な交互作用は認められず、経過時間の主効果が認められた ( $p < 0.05$ ). 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認められなかった (図 2-1, 図 2-2). COP 軌跡速度 (Y 方向) においては群間の主効果が認められ、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 ( $p < 0.01$ ,  $\text{partial } \eta^2 = 0.033$ ; 図 2-3).

条件 II における安定期の重心動揺指標と両群の比較では、全ての指標において有意な交互作用は認められず、経過時間の主効果が認められた ( $p < 0.01$ ). COP 軌跡速度 (X 方向) においては群間の主効果が認められ、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 ( $p < 0.05$ ,  $\text{partial } \eta^2 = 0.02$ ; 図 2-4). COP 軌跡速度 (Y 方向) および重心動揺面積においては、両群間に有意な差は認められなかった (図 2-5, 図 2-6).

捻挫群の足部アライメント指標と安定化時間、重心動揺指標との相関係数を表 4-3 に示す。捻挫群において、条件 I では足長と急性期の COP 軌跡速度 (Y 方向) との間に有意な正の相関関係 (足長:  $r = 0.689$ ,  $p < 0.05$ ), 内側縦アーチ高率と安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) との間に有意な正の相関関係を認めた ( $r = 0.824$ ,  $p < 0.01$ ). 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を認めた ( $r = 0.777$ ,  $p < 0.01$ ). 条件 II では、足幅/足長比と安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) との間に有意な正の相関関係を認めた ( $r = 0.704$ ,  $p < 0.05$ ). 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

意な相関関係は認められなかった。

健常群の足部アライメント指標と安定化時間、重心動揺指標との相関係数を表 4-4 に示す。

健常群において、条件 I では身長と安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) との間に有意な正の相関関係を認めた ( $r = 0.627, p < 0.01$ )。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認められなかった。

表 4-1 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
<b>足部アライメント指標</b>				
足長(mm)	259 ± 7	259 ± 10	n.s	0.01
足長(mm)/身長(mm)比(%)	15 ± 0	15 ± 1	n.s	0.00
足幅(mm)	104 ± 5	106 ± 6	n.s	0.19
足幅/足長比(%)	40.0 ± 1.8	40.8 ± 1.7	n.s	0.23
開張角(°)	16 ± 3	16 ± 2	n.s	0.02
内側縦アーチ高率(%)	14 ± 3	15 ± 2	n.s	0.13
第1趾側角(°)	13 ± 6	14 ± 5	n.s	0.13
第5趾側角(°)	18 ± 6	18 ± 4	n.s	0.02

※数値：平均値±標準偏差

※n.s : not significant

表 4-2 各条件における安定化時間と急性期の COP 軌跡速度 (X・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)
安定化時間	条件 I	4.38 ± 1.61	3.79 ± 1.63	n.s	0.25
	条件 II	2.29 ± 1.13	2.66 ± 1.07	n.s	0.22
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	条件 I	28.46 ± 3.65	24.24 ± 5.68	*	0.36
	条件 II	28.24 ± 3.94	30.08 ± 4.07	n.s	0.21
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	条件 I	16.12 ± 3.66	13.95 ± 4.05	n.s	0.25
	条件 II	25.95 ± 3.86	30.36 ± 6.08	*	0.35

※COP : center of pressure.

※n.s : not significant

※条件 I : その場での片脚立位動作, 条件 II : 前方への片脚踏み込み動作

※ \*p<0.05

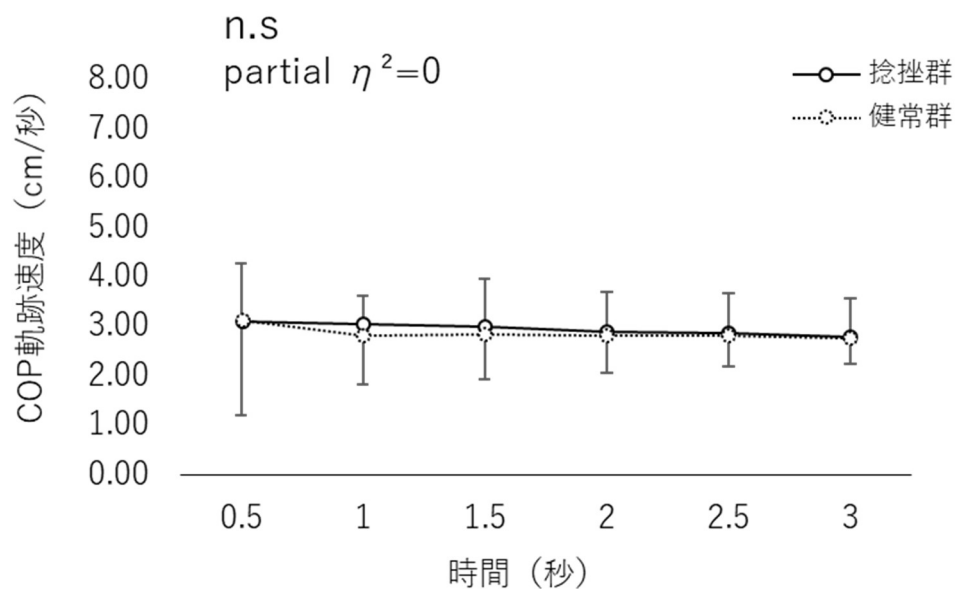


図 2-1 条件 I における安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) と両群の比較

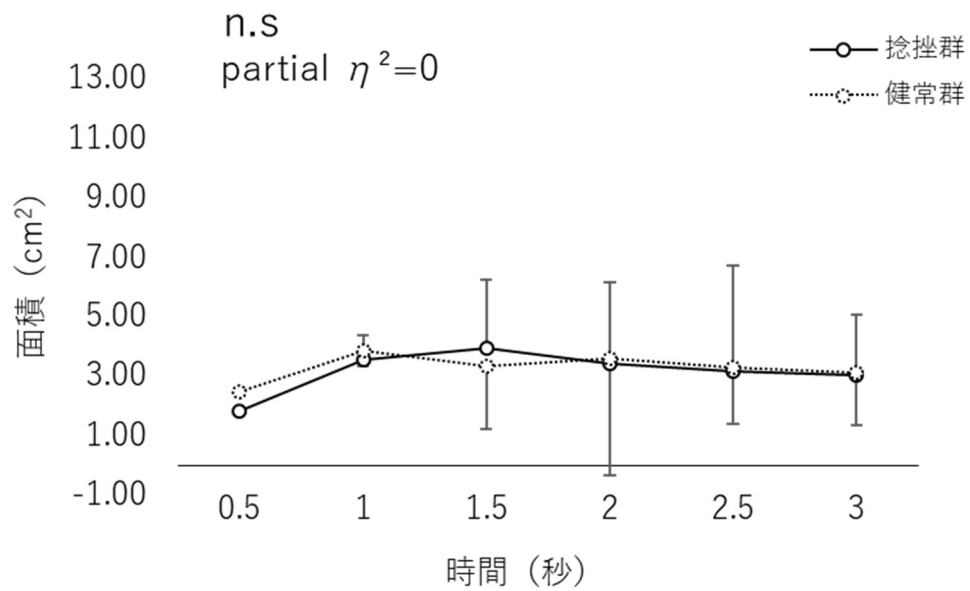


図 2-2 条件 I における安定期の重心動揺面積と両群の比較

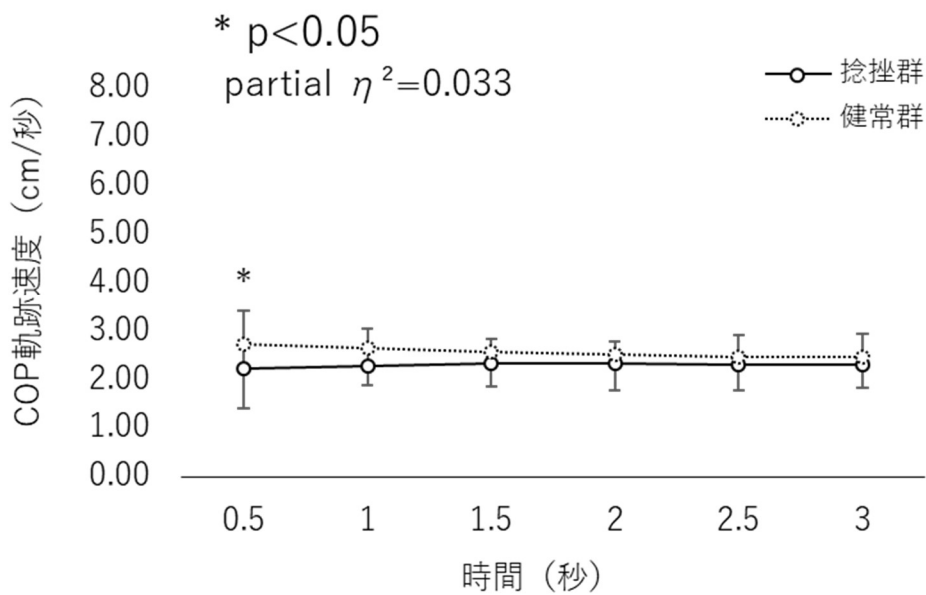


図 2-3 条件 I における安定期の COP 軌跡速度 (Y 方向) と両群の比較

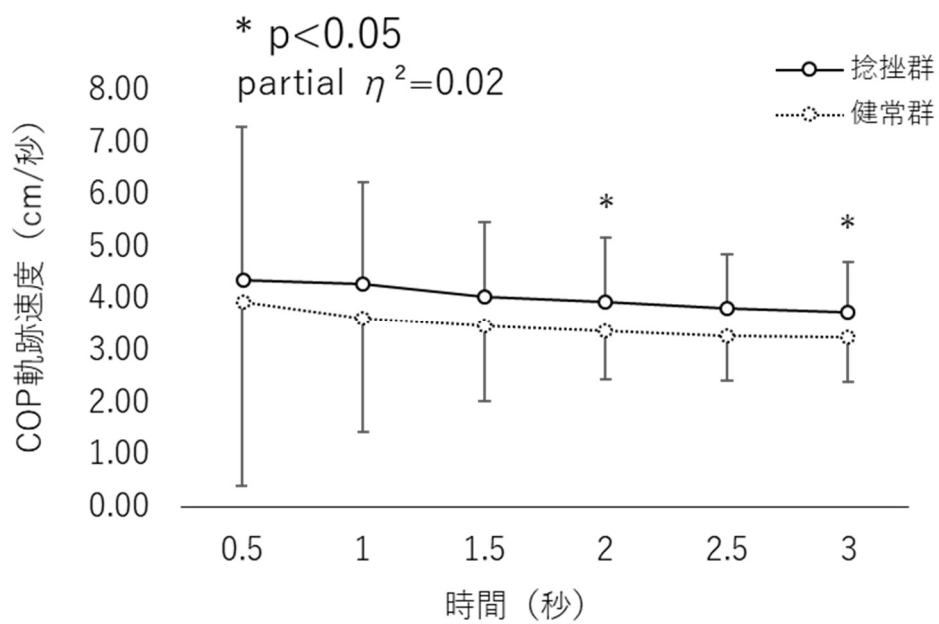


図 2-4 条件Ⅱにおける安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) と両群の比較

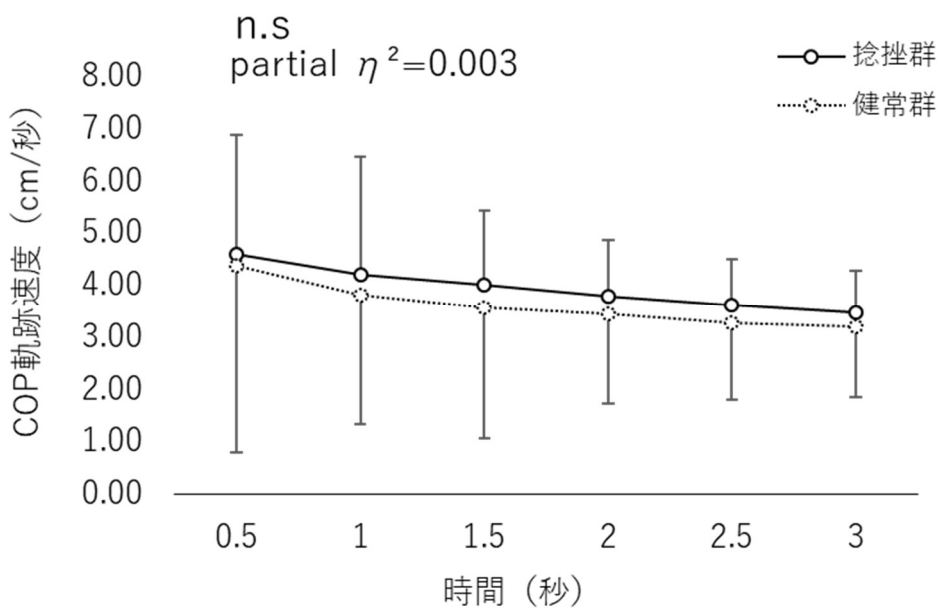


図 2-5 条件Ⅱにおける安定期の COP 軌跡速度 (Y 方向) と両群の比較

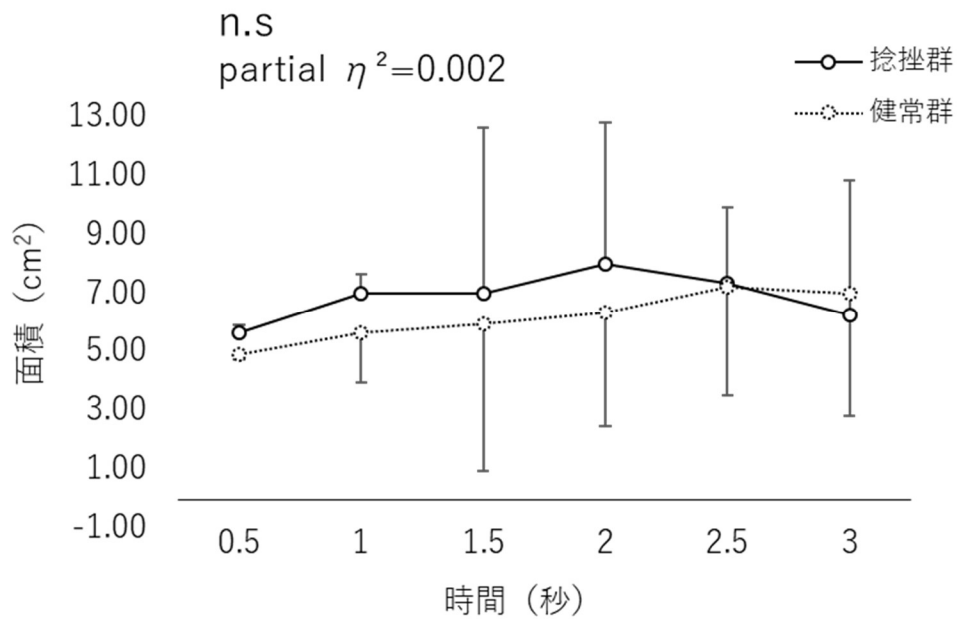


図 2-6 条件Ⅱにおける安定期の重心動揺面積と両群の比較

表 4-3 捻挫群の足部アライメント指標と安定化時間、重心動揺指標との相関係数

捻挫群(n=10)	身長(cm)	体重(kg)	足長(mm)	足長/身長比(%)	足幅(mm)	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>条件Ⅰ：その場での片脚立位動作</b>										
安定化時間	0.049	0.45	0.393	0.418	0.425	0.261	-0.056	-0.027	-0.153	0.409
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	0.367	0.443	0.601	0.329	0.31	-0.002	-0.068	0.341	-0.359	0.179
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.317	0.168	0.689 *	0.496	0.353	0.012	-0.28	0.106	-0.017	0.299
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.483	-0.017	0.391	-0.043	0.162	-0.036	0.205	0.824	* -0.311	-0.034
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.309	-0.361	0.403	0.159	-0.133	-0.39	-0.242	0.500	-0.128	0.137
安定期の重心動揺面積	0.564	0.614	0.389	-0.467	0.252	0.345	0.777 *	0.588	-0.468	-0.116
<b>条件Ⅱ：前方への片腳踏み込み動作</b>										
安定化時間	0.236	-0.043	0.055	-0.127	-0.62	-0.588	-0.354	-0.164	-0.195	0.091
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	0.482	-0.017	0.395	-0.038	-0.274	-0.547	-0.404	0.096	-0.354	0.482
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.34	-0.238	0.123	-0.209	-0.397	-0.534	-0.168	0.089	-0.233	0.153
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	-0.047	0.186	-0.167	-0.139	0.508	0.704	* 0.478	-0.059	0.324	-0.332
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	-0.261	0.128	-0.535	-0.297	0.129	0.261	0.168	-0.079	0.043	0.255
安定期の重心動揺面積	-0.474	0.148	-0.463	-0.049	0.096	0.374	0.155	-0.064	-0.095	-0.005

※COP：center of pressure.

※ \*p<0.05

表 4-4 健常群の足部アライメント指標と安定化時間、重心動揺指標との相関係数

健常群(n=24)	身長(cm)	体重(kg)	足長(mm)	足長/身長比(%)	足幅(mm)	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>条件 I : その場での片脚立位動作</b>										
安定化時間	-0.113	-0.246	0.040	0.113	-0.028	0.015	-0.141	-0.072	0.141	0.053
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	0.169	0.005	0.148	0.006	0.058	-0.031	0.031	-0.151	0.107	0.057
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.134	0.097	0.188	0.096	0.223	0.126	-0.044	-0.130	0.358	0.005
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.627 *	0.402	0.295	-0.308	0.191	-0.039	0.025	0.353	0.009	0.028
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.167	0.218	0.051	-0.121	0.228	0.228	0.200	0.063	0.085	0.185
安定期の重心動揺面積	0.101	0.326	0.079	-0.013	0.242	0.233	0.162	0.294	0.192	0.010
<b>条件 II : 前方への片脚踏み込み動作</b>										
安定化時間	-0.217	0.034	-0.102	0.110	-0.055	0.017	-0.029	0.010	-0.328	-0.004
急性期のCOP軌跡速度(X方向)	0.157	0.132	0.032	-0.128	-0.002	0.025	0.258	0.081	-0.336	0.165
急性期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.230	0.029	0.136	-0.078	0.010	-0.083	0.254	-0.124	-0.086	0.118
安定期のCOP軌跡速度(X方向)	0.123	-0.052	-0.142	-0.306	0.056	0.222	0.074	-0.079	0.185	0.107
安定期のCOP軌跡速度(Y方向)	0.231	0.179	0.036	-0.210	0.076	0.087	-0.075	0.153	0.272	0.010
安定期の重心動揺面積	0.137	0.195	-0.024	-0.011	-0.014	-0.042	-0.174	0.278	0.186	0.000

※COP : center of pressure.

※ \*p<0.05

#### 4-4. 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認められなかったが、急性期における重心動揺は、その場での片脚立位動作（条件 I）では捻挫群で COP 軌跡速度（X 方向）が不安定な結果を示し、前方への片脚踏み込み動作（条件 II）では捻挫群で COP 軌跡速度（Y 方向）が安定している結果となった。安定期において、捻挫群では前方への片脚踏み込み動作（条件 II）の COP 軌跡速度（X 方向）が TTS から 2 秒および 3 秒経過しても不安定な結果を示し、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認められた。その場での片脚立位動作（条件 I）において、捻挫群は COP 軌跡速度（Y 方向）が TTS から 0.5 秒経過時に安定している結果を示した。一方、COP 軌跡速度（X 方向）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を認めた。急性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認められなかった。

その場での片脚立位動作（条件Ⅰ）の急性期における重心動揺について、足関節は関節周辺の骨格筋活動を調整し（Riemann et al., 2002）、小さな動揺に対して姿勢を制御する（Kloos et al., 2008）。また、左右方向へ重心を移動する際には、足関節回内外筋力が関与するとされる（Kloos et al., 2008）。LAS は受傷により、足関節周辺の固有感覚受容器に損傷を与え、回内外方向の運動覚が低下する（Refshauge et al., 2003）。さらに、足関節底背屈や内がえし、外がえし方向の筋力は低下し（Holme et al., 1999; Wikstrom et al., 2013; Willems et al., 2002; Cheng et al., 2020）、回内筋力弱化的影響は動作開始時に顕著に現れるとされる（Pontaga, 2004）。急性期において、条件Ⅰのみ捻挫群の COP 軌跡速度（X 方向）が不安定な結果を示したことは、条件Ⅱと比べて身体移動量が小さく、左右方向への移動直後であったことが足関節での姿勢調節に影響し、LAS 既往による運動覚や筋機能の低下など後遺障害が不安定性に関与した可能性が推測される。

一方で、前方への片脚踏み込み動作（条件Ⅱ）の急性期における重心動揺では、捻挫群で COP 軌跡速度（Y 方向）が安定している結果を示した。身体重心の移動量が大きい場合には、股関節で姿勢を制御するとされる（Kloos et al., 2008）。LAS 既往者が片脚前方ジャンプを実施した際には、着地前に股関節外転および屈曲角度や長腓骨筋、腓腹筋内側頭、外側広筋や長内転筋、中殿筋や大殿筋の筋活動量が増加し、着地時の衝撃を軽減するとされる（Han et al., 2021）。条件Ⅱでは前方へ移動する動作に対し、ステップ脚接地前にこれらの準備動作が出現し、股関節で姿勢を制御していた可能性が推測される。しかしながら、本研究では LAS 既往者の足関節運動覚や筋機能、片脚立位を保持する前の準備動作、ステップ脚接地直後の股関節角度や機能



は評価していないため、不明な点が多く、これらの評価を含めて再度検討する必要がある。

その場での片脚立位動作（条件 I）の安定期における COP 速度（Y 方向）は、捻挫群のほうが有意に低値を示し、安定している結果となった（図 2-3）。身体重心の移動量が少なく、動揺が収束している時には、下肢からの体性感覚入力により揺らぎを補正する（山下, 2007）。その場での片脚立位動作の安定性は、中殿筋および大腿四頭筋筋力（村田他, 2004）、足底部感覚（横山他, 1995）、足趾把持筋力（木藤他, 2001）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）は足部アライメント指標との関連性が認められなかったことから、これら下肢筋力など足部アライメントを除いた他の要因が影響し、安定性を保持していた可能性が考えられる。

前方への片脚踏み込み動作（条件 II）の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（図 2-4）。また、足部アライメント指標と重心動揺指標との関係では、条件 II の COP 軌跡速度（X 方向）は、捻挫群のほうで足幅/足長比との間に有意な正の相関関係を認めた（表 4-3）。足幅/足長比は両群の間に有意な差が認められなかったことから、捻挫群は前足部横アーチが低下した場合に前方への片脚踏み込み動作の左右方向への重心動揺が不安定になる結果となった。前足部横アーチの動的な安定化に作用する筋には前・後脛骨筋、長腓骨筋、母趾内・外転筋、底背側骨間筋が挙げられる。第 1 趾および第 5 趾列については、これら筋による動的な安定性の影響を受けやすいとされる（三木他, 2018）。LAS 既往者では前・後脛骨筋や長腓骨筋の筋力が低下するとされ（Holme et al., 1999; Wikstrom

et al., 2013; Willems et al., 2002; Cheng et al., 2020), これらの影響が荷重動作時に出現した際には, 前足部横アーチの安定化にも影響を与える可能性が推測される. これらの見解から, LASの既往により前足部横アーチを維持する筋力が低下した場合に, 前方への片脚踏み込み動作が不安定になる可能性が考えられた.

内側縦アーチ高率においては, 前方への片脚踏み込み動作 (条件 II) の安定期の重心動揺と有意な相関関係が認められなかった. LAS 受傷後に足関節の不安定性が高くなった症例では, 歩行動作の立脚期には距骨下関節の内がえしおよび外側偏位の増大が確認されている (Cao et al., 2019). 距骨下関節が内がえしになると内側縦アーチは挙上することから, 前方への片脚踏み込み動作においても関係があると考えられたが, 相関関係は認められなかった. したがって, 前方への片脚踏み込み動作では, LAS 受傷後に足関節に不安定性が確認された場合に, 内側縦アーチが重心動揺へ影響を与える可能性が推察される. しかしながら, 本研究では LAS 既往者の足関節不安定性は調査していないため, 足関節の安定性を与える影響においても今後検討する必要がある.

その場での片脚立位動作 (条件 I) については, 捻挫群のほうで COP 軌跡速度 (X 方向) と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を認めた (表 4-3). LAS 既往者では, 足関節回内外の運動覚 (Refshauge et al., 2003) や筋力が低下する (Holme et al., 1999; Wikstrom et al., 2013; Willems et al., 2002; Cheng et al., 2020). 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 (谷口他, 2018). 本研究では LAS 既往者の足関節運動覚や筋

機能は評価していないが、これらの後遺障害が荷重変位に影響を与えた場合に、内側縦アーチが拳上するほどその場での片脚立位動作が不安定になる可能性が考えられた。重心動揺面積と開張角との間に有意な正の相関関係を認めたことにおいても LAS の既往により足関節周囲筋機能が低下 (Holme et al., 1999; Refshauge et al., 2003; Wikstrom et al., 2013; Willems et al., 2002; Cheng et al., 2020) し、前足部横アーチを保持する筋に影響を与えた場合に、前足部横アーチが低下するほど不安定になる可能性が考えられた。

その場での片脚立位動作 (条件 I) のみ内側縦アーチ高率と有意な相関関係を示したことについて、動揺速度が小さい場合には足部からの感覚入力により情報を収集する (Diener et al., 1984; Hayashi et al., 1988; 長谷, 2006)。条件 I は条件 II と比べて、COP 軌跡速度 (X 方向) が低値を示し、安定している結果となった (図 2-1, 図 2-4)。片脚立位姿勢保持中の動揺速度が小さいことで足部からの感覚入力となり、LAS の既往による足関節周囲筋機能低下の影響が条件 I のほうで出現した可能性が推測されるが、不明な点が多く、再度検討する必要がある。

急性期においては、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認められなかった。片脚着地動作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 3 関節を屈曲する動作 (Devita et al., 1992; Santello et al., 2005) や、下肢筋活動 (Santello et al., 2005) が着地前から生じる (Riemann et al., 2002; 長谷他, 2006) 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 (Allet et al., 2017)。条件 I は左右方向への移動直後、条件 II は前方への移動直後となり、安定期での片脚立位保持と

比べて、身体重心の移動量が大きい。急性期ではいずれの条件においても動作開始から片脚立位を保持するまでに、体幹部や下肢3関節の動作が生じることで姿勢を制御したことから、足部アライメント指標と相関関係が認められなかったと推測されるが、本研究では調査していないため、今後検討する必要がある。

#### 4-5. 小括

本研究はその場での片脚立位動作と前方へ片脚で踏み込む動作において、1) LASの既往が急性期と安定期の重心動揺に与える影響、および2) LAS既往者の足部アライメントが急性期と安定期の重心動揺へ与える影響を明らかにすることを目的とした。本研究の結果より次のことが明らかとなった。

- 1) 急性期の重心動揺において、LAS既往者はその場での片脚立位動作ではCOP軌跡速度(X方向)が不安定な結果を示し、前方への片脚踏み込み動作ではCOP軌跡速度(Y方向)が安定している結果を示した。
- 2) 安定期の重心動揺において、LAS既往者はその場での片脚立位動作ではCOP軌跡速度(Y方向)がTTSから0.5秒経過時に安定している結果を示し、前方への片脚踏み込み動作ではCOP軌跡速度(X方向)がTTSから2秒および3秒経過しても不安定な結果を示した。
- 3) LAS既往者は前方への片脚踏み込み動作の安定期の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を示し、前足部横アーチが低下した場合に、前方への片脚踏み込み動作が不安定になる結果を示した。

- 4) LAS 既往者はその場での片脚立位動作の安定期の COP 軌跡速度 (X 方向) と内側縦アーチ高率, 重心動揺面積と開張角との間に有意な正の相関関係を示したが, これら指標の LAS 既往による不安定性への影響は認められなかった.
- 5) 急性期の重心動揺指標は LAS 既往の有無に関わらず, 足部アライメント指標と有意な相関関係が認められなかった.

以上のことから, LAS の既往は, その場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の急性期および安定期の重心動揺に影響を与え, LAS 既往者は後遺障害の影響により前足部横アーチが低下した場合に, 前方への片脚踏み込み動作が安定期に不安定になる可能性が明らかとなった. さらに, その場での片脚立位動作は内側縦アーチが挙上または横アーチが低下した場合に, 安定期に不安定になることが示された. 急性期の重心動揺は 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は影響しないことが明らかとなった.

## 第5章 総括論議

本博士論文は、大学野球選手を対象に前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢について、急性期と安定期の重心動揺に足部への負荷や投球習慣、LASの既往が与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることを目的とした。これらの目的を達成するために、まず前方への片脚踏み込み動作の急性期および安定期の重心動揺に足部への負荷が与える影響を確認した後、野球選手の投球習慣やLASの既往が与える影響、これらの影響と足部アライメントとの関係について検証した。その主な結果は以下の通りであった。

- 1) 前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢は、急性期の重心動揺に台から前方へ踏み込んだことによる足部への負荷が影響を与えるが、安定期の重心動揺には影響しないことが明らかとなった。安定期のCOP軌跡速度(X方向)は、足幅/足長比と有意な正の相関関係を示し、足部への負荷を高めても急性期と安定期の重心動揺に足部アライメントは影響しないことが明らかとなった(研究課題I)。
- 2) 野球選手の投球習慣が片脚立位動作の重心動揺へ与える影響はポジションで異なり、投手は軸脚におけるその場での片脚立位動作が安定し、前方への片脚踏み込み動作の安定化時間と足幅/足長比との間に有意な正の相関関係を示した。野手では、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認められなかった。野球競技ではピッチャーマウンドから投球を繰り返す習慣が前方への片脚踏み込み動作の安定化

時間と前足部横アーチとの関係に影響を与えている可能性が明らかとなった（研究課題Ⅱ）。

- 3) LAS の既往はその場での片脚立位動作と前方への片脚踏み込み動作の急性期および安定期の重心動揺に影響を与え、前方への片脚踏み込み動作の安定期の COP 軌跡速度（X 方向）と足幅/足長比に有意な正の相関関係を示した。その場での片脚立位動作では、安定期の COP 軌跡速度（X 方向）と内側縦アーチ高率、重心動揺面積と開張角との間に有意な正の相関関係を示した。LAS 既往者は後遺障害の影響により前足部横アーチが低下した場合に、前方への片脚踏み込み動作が安定期に不安定になることが明らかとなった。さらに、内側縦アーチが挙上または横アーチが低下した場合には、その場での片脚立位動作が安定期に不安定になることが示された。急性期の重心動揺は 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は影響しないことが明らかになった（研究課題Ⅲ）。

以上の結果に基づき、本章では 1) 片脚立位動作の急性期と安定期の重心動揺に与える影響と足部アライメントとの関係、2) 投球習慣や LAS の既往による適応が前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響について総括的に考察し、3) 今後の課題を記す。

### 5-1. 片脚立位動作の急性期と安定期の重心動揺に与える影響と足部アライメントとの関係

第2章および第4章の結果から、急性期の重心動揺には台から前方への足部の負荷（図1-10, 図1-11）、LASの既往（表4-2）が影響を与え、条件やLAS既往の有無に関わらず足部アライメント指標との関係は認められなかった（表2-2, 表4-3, 表4-4）。

急性期はいずれの条件においても動作直後となり、重心移動に伴う揺らぎが大きい。第4章において、その場での片脚立位動作（条件I）では、LAS既往者に限り左右方向に不安定な結果を示し（表4-2）、受傷による後遺障害の影響から足関節周囲筋の機能が低下し、これらが不安定性に影響した可能性を考察した。条件Iは足部への衝撃負荷が小さく（図1-8）、条件IIと比べて身体重心の移動量が少ないことで足関節での姿勢調節となり、足関節の機能が重心動揺へ影響を与えた可能性が推測される。

前方への片脚踏み込み動作（条件II）は足部への衝撃負荷は条件Iと有意な差は認められなかったが（図1-8）、身体重心の移動量が条件Iと比べて大きい。身体重心の移動量が多い場合や素早い運動を行う際には、LAS既往の有無に関わらず、動作開始前から体幹部や下肢3関節が準備し、予測的に姿勢を調節するフィードフォワード制御が行われる（Santello et al., 2005; Han et al., 2021）。ジャンプの高さや方向を変化させた場合には、着地時の足部内在筋での制御は極めて少なく（Chang et al., 2012）、中足部の貢献が7~22%程度であり（Olsen et al., 2019）、着地動作の多くは膝関節外反角（Sinsurin et al., 2013）や股関節屈曲および内外転角（Azevedo et al., 2019）、足関節底背屈および後足部角（Kunugi et al., 2020）の変化が大きいと言われている。本研究の対象者は、普段からキャッチボール等の投球練習で前方へ片脚で踏み込む際の身体移動量の大きさを体感している。計測の際においても酷似した運動条件を設定したことか



ら、条件Ⅱでは動作開始前から体幹部や下肢3関節が準備し、着地直後においてもこれらが姿勢を調節したことが重心動揺へ影響を与えた可能性が考えられる。

以上の見解から、急性期にはLAS既往の有無に関わらず、身体重心の移動量が小さい場合には足関節が姿勢調節に影響し、移動量が大きい場合には体幹部や膝関節、股関節を含めて姿勢を制御する可能性が考えられ、足部アライメントは関係しないことが示唆された。

安定期の重心動揺においては、前方への身体重心の移動(図1-12~図1-14)や野球選手のポジション特性(表3-1)、LASの既往(図2-3, 図2-4)が影響を与えた。さらに、前方への片脚踏み込み動作(条件Ⅱ)では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を示し(表2-2)、LAS既往者においても同様の結果を示した(表4-3)。さらに、LAS既往者に限っては、その場での片脚立位動作(条件Ⅰ)でCOP軌跡速度(X方向)と内側縦アーチ高率との間に有意な正の相関関係を示し、重心動揺面積と開張角との間にも有意な正の相関関係を認めた(表4-3)。先行研究において、競技スポーツの特性やトレーニング習慣(履歴)、LASの既往が片脚立位動作の重心動揺に影響を与えている期間は、その場での片脚立位課題では10~60秒間、片脚ジャンプ着地課題では着地直後1~10秒間の指標であり、一定期間姿勢を保持した条件であった(Tropp et al., 1984; Tropp et al., 1988; Friden et al., 1989; Cornwall et al., 1991; Judge et al., 1993; Goldie et al., 1994; Perrin et al., 1997; Baier et al., 1998; Hertel et al., 2001; Vuillerme et al., 2001; Mak et al., 2003; Evans et al., 2004; Kovacs et al., 2004; Vuillerme et al., 2004; Stemm et al., 2006; Wang et al., 2006; Gerbino et al., 2007; Asseman et al., 2008; Wikstrom et al., 2010a; Lin et al., 2011; 西村他, 2011; Pau et al., 2012; Steib et al.,

2013; Abe et al., 2014; Huurnink et al., 2014; Lin et al., 2014; Nakagawa et al., 2004; Pau et al., 2014; Donath et al., 2016; Doherty et al., 2016; Kros et al., 2016; Knight et al., 2016; Heleno et al., 2016; Nunes et al., 2016; King et al., 2017; Kamikura et al., 2018; Walsh et al., 2018; Jaber et al., 2018; Wong et al., 2019; Snyder et al., 2020; Wojciechowska-Maszkowska et al., 2020; Meiners et al., 2020; Mohamadi et al., 2020; Glass et al., 2021; Kozinc et al., 2021b). さらに、足部アライメントと重心動揺との関係においても、10~30 秒間姿勢を保持した期間とされる (Hertel et al., 2002; Cobb et al., 2014; Irez, 2014; Saghazadeh et al., 2015; Carvalho et al., 2015; Birinci et al., 2017; Mun et al., 2019; Beelen et al., 2020; Cote et al., 2005; Tsai et al., 2006; Angin et al., 2013; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019; Mun et al., 2019; Cobb et al., 2004; Fu et al., 2018). 両脚立位から片脚立位動作課題を用いて、足部形態の影響を検討した報告では、足部形態が影響した時間は TTS 以降の 3 秒間であった (Koshino et al., 2020). 第 3 章においても野球選手の軸脚およびステップ脚の重心動揺にポジション特性が影響を与えた期間は、TTS 以降の重心が最も安定している期間であり、第 2 章および第 4 章においても野球のポジション特性や LAS の既往、足部アライメント指標と相関関係が認められた期間は安定期であった。先行研究および本研究結果を鑑みると、野球競技の特性や LAS の既往、足部アライメントは重心が安定した後の動揺に影響を与えている可能性が考えられる。

身体重心の移動量が小さく、遅い運動を行う際には中枢神経が意思決定を行い、運動器へ指令を出し、揺らぎを補正するフィードバック制御が行われる (山下, 2007). 第 2 章および第 4 章の結果では LAS 既往の有無に関わらず、安定期の COP 軌跡速度は急性期と比べて低値を示

している（第2章；図1-10～図1-13，第4章；表4-2，図2-1，図2-3～図2-5）。片脚ドロップジャンプ動作では，着地直後の揺らぎが少ない時期には個人固有のバランス能力が反映される（杉山他, 2011）。姿勢の平衡機能を修正する因子には，筋骨格系や神経系が関与する（Kloos et al., 2008）。第3章において，投手ではピッチャーマウンドからの投球習慣が軸脚における条件Ⅰの安定性に反映され，ステップ脚では体幹部や下肢筋群の筋力やパワーが影響を与えた可能性を考察した。第4章においては，LASの受傷による後遺障害の影響が条件Ⅱの左右方向の安定性に影響した可能性を考えた。本研究では対象者の下肢筋力やパワー，筋機能を調査してはいないが，安定期にはこれら個人固有の身体要因が重心動揺に影響を与えた可能性が考えられる。また，足部アライメント指標と関係性を示したことにおいては，低周波数帯の重心動揺が足部からの感覚入力の情報で管理するとされていることから（Diener et al., 1984; Hayashi et al., 1988; 長谷, 2006），安定期の重心動揺が小さいことが感覚入力情報に影響し，足部を含めた下肢全体で動揺をコントロールしていた可能性が推測される。

以上の見解から，安定期の重心動揺は投球習慣や筋力，外傷・障害の既往など個人固有の身体要因が影響を与えている可能性があり，動揺が小さいことが足部からの感覚入力情報に影響を与え，足部アライメントが姿勢制御に関係した可能性が考えられた。

これらの知見から，前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の重心動揺は急性期と安定期に分けて評価し，急性期では体幹部や下肢3関節の姿勢制御が重心動揺に与える影響を評価する際に有用であり，運動課題の身体重心の移動量を考慮してこれらを検討することが必要であることが示された。安定期においては競技スポーツの特性や習慣，LASの既往，足部アライメント

などの個人固有の身体要因が重心動揺に与える影響を評価する際に有用であることが示された。片脚立位動作の重心動揺は評価する目的に応じて、運動課題を設定し、急性期および安定期の指標を適宜選択することが実践の場へ応用可能な方法であることが示唆された。

安定期の重心動揺指標について、片脚立位姿勢の安定性は動作時の前方への制御に影響し、安定性が低下した際には減速力が低下し、ストップ後の反応においても遅延しやすくなると言及されている（松田，2017）。野球競技の投手を例にとると、安定期に前方へ片脚で踏み込む動作が不安定になった際には打者への投球後、守備動作を開始する前に止まりにくくなることが予測される。守備開始前に片脚踏み込み動作が不安定になると、その後の動作へ移行する際には、反応が遅くなる可能性が推測される。LAS 既往者では、後遺障害の影響により安定性が低下した場合には守備動作を開始する前に止まれず、再発リスクが高まる可能性が考えられる。本研究では安定期の重心動揺が守備動作や LAS の再発要因に影響を与える明確な基準値は明らかにならなかったが、野球競技の実践現場では安定期の重心動揺を小さくすることが守備能力の向上や LAS の再発を予防するための一助となる可能性が示唆された。

## 5-2. 投球習慣や LAS の既往による適応が前方への片脚踏み込み動作の重心動揺と足部アライメントとの関係に与える影響

第 2 章～第 4 章の結果から、前方への片脚踏み込み動作の重心動揺指標と足部アライメント指標との関係を表 5-1 にまとめた。第 2 章および第 4 章では前方への片脚踏み込み動作（条件 II）の安定期の COP 軌跡速度（X 方向）と足幅/足長比との間に（表 2-2，表 4-3），第 3 章では投手においてのみ足幅/足長比が維持され、条件 II の安定化時間と足幅/足長比との間に有

意な正の相関関係を認めた (表 3-2)。これらの結果から、健常選手は前方への身体重心の移動が前足部横アーチとの関係に影響を与え、投手はピッチャーマウンドから投球を繰り返す習慣が前足部横アーチの維持につながり、身体重心の安定化に寄与した可能性が考えられた。LAS の既往を有する選手においては、受傷による後遺障害の影響により前足部横アーチを維持する筋力が低下した場合に不安定になる可能性が示された。つまり、野球競技において、前方へ片脚で踏み込む動作には LAS 既往の有無に関わらず、前足部横アーチを保つ筋力や機能を低下させないことが重心の安定化に繋がり、その後の安定性を維持するために重要となる。

前足部横アーチを保つ筋力において、第 3 章ではピッチャーマウンドからの投球を繰り返す習慣が前・後脛骨筋や長腓骨筋、腓腹筋の活動量や筋反応時間に影響し (Gerstle et al., 2018; 与那他, 1990)、条件 II の重心安定化に貢献された可能性を考えた。第 4 章では LAS 既往者の後遺障害の影響により、前・後脛骨筋や長腓骨筋の筋力が低下し (Holme et al., 1999; Wikstrom et al., 2013; Willems et al., 2002; Cheng et al., 2020)、前足部横アーチを維持する筋力が低下した場合に、条件 II が不安定になる可能性を推察した。これらの見解から、前方へ片脚で踏み込む動作は、前・後脛骨筋や腓骨筋が安定性に関係する可能性が予測され、野球選手や LAS 既往者においては、予めこれらの筋力を評価し、前足部横アーチ高が維持されているかを確認することが前方への片脚踏み込み動作の TTS 以降の安定性を獲得するためには必要であることが示唆された。

以上の見解から、前方への片脚踏み込み動作に対して、早期に重心を安定させ、その後の動作の安定性を維持し続ける必要がある競技は、前足部横アーチを低下させないことがパフォー

マンスの向上や LAS の再発に繋がる可能性が考えられた。

これらの知見から、前方へ片脚で踏み込む動作を繰り返す競技では、傾斜を用いて前方へ踏み込むトレーニングを繰り返すことや前・後脛骨筋や腓骨筋などの足関節周囲筋の強化、前足部横アーチパッドによる足底挿板での補正などを行い、前足部横アーチを維持することが踏み込み後早期に安定性を獲得する一助となることが期待された。LAS 既往者においては前足部横アーチを保つ筋力や機能を評価し、これらが低下していた場合にはトレーニングや対処を行い、筋反応時間を高めることが前足部横アーチの維持に繋がり、前方への片脚踏み込み動作での再受傷リスクを軽減できる可能性が示唆された。

本研究では内側縦アーチ高率、開張角、足趾角においてもそれぞれ前方への片脚踏み込み動作の重心動揺との関係を検討した。第 2 章～第 4 章の結果では、これら指標との有意な相関関係は認められなかった。先行研究において、内側縦アーチと片脚立位動作の重心動揺に関係が認められた報告は対象者が男性および女性 (Birinci et al., 2017; Cobb et al., 2014; Angın et al., 2013; Irez, 2014; Cote et al., 2005; Hertel et al., 2002; Tsai et al., 2006; Beelen et al., 2020; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019)、女性 (Carvalho et al., 2015; Saghazadeh et al., 2015)、高齢者 (Carvalho et al., 2015; Saghazadeh et al., 2015) の場合が多い。また、内側縦アーチ指標においても 10%荷重立位時と 90%荷重立位時の変化量 (Birinci et al., 2017) や比率 (Cobb et al., 2014)、FPI などの足部形態での分類 (Irez, 2014; Cote et al., 2005; Hertel et al., 2002; Tsai et al., 2006; Beelen et al., 2020; Kim et al., 2014; Huang et al., 2019) で検討されている。男性を対象とした報告では、3次元で足型を測定できる機器を用いて内側縦アーチの面積が評価され

(Mun et al., 2019), 閉眼条件 (Koshino et al., 2020) で検討されている。足趾角については第1趾側角のみ検討されており、対象者が高齢女性の場合に関係性が認められたと報告されている (Carvalho et al., 2015)。本研究で内側縦アーチ高率や足趾角との相関関係を示さなかったことは、対象者の性別や年齢、内側縦アーチの測定方法や使用機器、測定時の視覚条件が要因であると考えられる。開張角は中足部の構造を反映し、内側縦アーチの一部分を構成する。開張角が相関関係を示さなかったことは、内側縦アーチ高率との関係性が現れなかったことが影響している可能性が考えられる。足趾角については開張角と正の相関関係にあることから (矢倉他, 2014), 足趾角との相関関係を示さなかったことは、開張角と関連しなかったことも影響している可能性が考えられた。

表 5-1 前方への片脚踏み込み動作の重心動揺指標と足部アライメント指標との関係

条件		前方への片脚踏み込み動作					
		LAS既往選手			健常選手		
対象となる選手		LAS既往選手	健常選手	トレーニングを積んだ選手	LAS既往選手	健常選手	トレーニングを積んだ選手
重心動揺指標		安定するまでの時間			安定期 (安定している期間)		
		約2~3秒	約2~3秒	約1.5秒			
足部アライメント指標	内側縦アーチ高率	-	-	-	-	-	-
	足幅/足長比	-	-	重心の安定化に寄与	低下した場合に不安定	低下するほど不安定	-
	開張角	-	-	-	-	-	-
	足趾角	-	-	-	-	-	-

### 5-3. 今後の課題

本研究では、前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の急性期および安定期の重心動揺と投球時のパフォーマンス指標との関係は、明らかにすることができなかった。また、本研究結果がLAS既往者の再発予防に繋がるか否かは、不明な点が多い。今後は投球速度や精度などのパフォーマンス指標が前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の急性期および安定期の重心動揺に与える影響を調査することにより、投球パフォーマンスや守備能力の向上に結び付く情報になると考えられる。さらに、LAS既往者の再発予防については、本研究で提示した足関節や足部に対するトレーニングなどを用いて、実際にその効果を検証し、前向きな調査を行うことで明確に示すことができると考え、今後の課題とする。



## 第6章 結論

本博士論文は、大学野球選手を対象に前方への踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の急性期と安定期の重心動揺に足部への負荷や投球習慣、LASの既往が与える影響を検討し、これらと足部アライメントとの関係を明らかにすることを目的とし、以下の知見を得た。

1) 前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の急性期の重心動揺は足部への負荷、LASの既往が影響した。また、LAS既往の有無に関わらず、足部アライメント指標との間に相関関係を示さなかった。したがって、急性期には、足部アライメントは関係しないことが明らかとなった。

2) 前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の安定期の重心動揺は、身体重心の移動方向や競技特性、LASの既往が影響した。また、足部アライメント指標は足幅/足長比と有意な正の相関関係を示し、前足部横アーチが関係していることが明らかとなった。

3) 投手は、前方へ片脚で踏み込む動作の安定化時間と足幅/足長比との間に有意な正の相関関係を示し、ピッチャーマウンドから投球を繰り返す習慣がステップ脚の前足部横アーチに影響を与え、安定化時間との関係に寄与していることが明らかとなった。

以上の知見より、大学野球選手において、前方踏み込み動作を伴う片脚立位姿勢の重心動揺は、①急性期は足部への負荷、LASの既往が影響し、足部アライメントとの関係がない、②安

定期は身体重心の移動方向や競技特性, LAS の既往, 足部アライメントが影響を与える, ③ピッチャーマウンドから投球を繰り返す習慣がステップ脚の前足部横アーチに影響を与え, 身体重心の早期安定化に寄与する可能性が示唆され, これを結論とした.

## 参考文献

1. Abe, Y., Sugaya, T., Sakamoto, M. The postural control characteristics of individuals with and without a history of ankle sprain during single-leg standing: Relationship between center of pressure and acceleration of the head and foot parameters. (2014). *The Journal of Physical Therapy Science*, 26(6), 885–888.
2. Allet, L., Zumstein, F., Eichelberger, P., Armand, S., Punt, I.M. Neuromuscular control mechanisms during single-leg jump landing in subacute ankle sprain patients: A case control study. (2017). *PM & R*, 9(3), 241-250.
3. Angın, S., İçin, N., Yeşilyaprak, S. S., Simşek, I. E. Prediction of postural sway velocity by foot posture index, foot size and plantar pressure values in unilateral stance. (2013). *Eklemler Hastalıkları ve Cerrahisi Joint Diseases and Related Surgery*, 24(3), 144-148.
4. Asseman, F. B., Caron, O., Crémieux, J. Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? (2008). *Gait & Posture*, 27(1), 76-81.
5. Attenborough, A. S., Sinclair, P. J., Sharp, T., Greene, A., Stuelcken, M., Smith, R. M., Hiller, C. E. The identification of risk factors for ankle sprains sustained during netball participation. (2017). *Physical therapy in sport*, 23, 31-36.
6. Azevedo, A. M., Oliveira, R., Vaz, J.R., Cortes, N. Professional dancers distinct biomechanical pattern during multidirectional landings. (2019). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(3), 539-547.
7. Baier, M. Hopf, T. Ankle orthoses effect on single-limb standing balance in athletes with functional ankle instability. (1998). *Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(8),939-944.
8. Baldwin, J. N., McKay, M. J., Hiller, C. E., Nightingale, E. J., Moloney, N., Joshua Burns, J., 1000 Norms Project Consortium Correlates of perceived ankle instability in healthy individuals aged 8 to 101 years. (2017). *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(1), 72-79.
9. Beelen, P. E., Kingma, I., Nolte, P. A., Dieën, J. H. The effect of foot type, body length and mass on postural stability. (2020). *Gait & Posture*, 81,241-246.
10. Behm, D. G., Wahl, M. J., Button, D. C., Power, K. E., Anderson, K. G. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. (2005). *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(2), 326-331.

11. Beling, J., Roller, M. Multifactorial intervention with balance training as a core component among fall-prone older adults. (2009). *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 32(3), 125-133.
12. Bernier, J. N., Perrin, D. H., Rijke, A. Effect of unilateral functional instability of the ankle on postural sway and inversion and eversion strength. (1997). *Journal of Athletic Training*, 32(3), 226-232.
13. Beynnon, B. D., Renström, P. A., Alosa, D. M., Baumhauer, J. F., Vacek, P., M. Ankle ligament injury risk factors: a prospective study of college athletes. (2001). *Journal of Orthopaedic Research*, 19(2), 213-220.
14. Beynnon, B. D., Murphy, D. F., Alosa, D. M. Predictive factors for lateral ankle sprains: a literature review. (2002). *Journal of Athletic Training*, 37(4), 376–380.
15. Bhat, R., Moiz, J. A. Comparison of dynamic balance in collegiate field hockey and football players using star excursion balance test. (2013). *Asian Journal of Sports Medicine*, 4(3), 221-229.
16. Bressel, E., Yonker, J. C., Kras, J., Heath, E. M. Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes. (2007). *Journal of Athletic Training*, 42(1), 42–46.
17. Birinci, T., Demirbas, S. B. Relationship between the mobility of medial longitudinal arch and postural control. (2017). *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 51(3), 223-227.
18. Brown, C. N., Bowser, B., Orellana, A. Dynamic postural stability in females with chronic ankle instability. (2010). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(12), 2258-2263.
19. Brown, C., Ross, S., Mynark, R., Guskiewicz, K. Assessing functional ankle instability with joint position sense, time to stabilization, and electromyography. (2004). *Journal of Sport Rehabilitation*, 13(2), 122-134.
20. Brown, S. R., Brughelli, M., Lenetsky, S. Profiling single-leg balance by leg preference and position in rugby union athletes. (2018). *Motor Control*, 22(2), 183-198.
21. Camp, C. L., Curriero, F. C., Pollack, K. M., Mayer, S. W., Spiker, A. M., D'Angelo, J., Coleman, S. H. The epidemiology and effect of sliding injuries in major and minor league baseball players. (2017). *The American journal of sports medicine / The American Orthopaedic Society for Sports Medicine*, 45(10), 2372-2378.
22. Cao, S., Wang, C., Zhang, G., Ma, X., Wang, Xu., Huang, J., Zhang, C., Wang, K. In vivo kinematics of functional ankle instability patients during the stance phase of walking. (2019). *Gait & Posture*, 73, 262-268.

23. Carvalho, C. E., da Silva, R., AGil, A. W., Oliveira, M. R., Nascimento, J. A., Pires-Oliveira, D. A. A. Relationship between foot posture measurements and force platform parameters during two balance tasks in older and younger subjects. (2015). *The Journal of Physical Therapy Science*, 27(3), 705–710.
24. Chang, J. S., Kwon, Y. H., Kim, C.S., Ahn, S-H., Park, S. H. Differences of ground reaction forces and kinematics of lower extremity according to landing height between flat and normal feet. (2012). *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 25(1), 21–26.
25. Cheng, W. L., Jaafar, Z. Effects of lateral ankle sprain on range of motion, strength and postural balance in competitive basketball players: a cross-sectional study. (2020). *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(6), 895-902.
26. Cherati, A. S., Dousti, M., Younespour, S. Association between foot posture index and ankle sprain in indoor football players. (2016). *Global Journal of Health Science*, 8(10), 160-166.
27. Chimera, N. J., Larson, M. Predicting lower quarter Y-balance test performance from foot characteristics. (2020). *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(1), 16-21.
28. Cobb, S. C., Bazett-Jones, D. M., Joshi, M. N., Earl-Boehm, J. E., James, C. R. The relationship among foot posture, core and lower extremity muscle function, and postural stability. (2014). *Journal of Athletic Training*, 49(2), 173-180.
29. Cobb, S. C., Tis, L. L., Johnson, B. F., Higbie, E. J. The effect of forefoot varus on postural stability. (2004). *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(2), 79-85.
30. Cornwall, M. W., Murrell, P. Postural sway following inversion sprain of the ankle. (1991). *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 81(5), 243-247.
31. Cote, K. P., Brunet, M. E., Gansneder, B. M., Shultz, S. J. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. (2005). *Journal of Athletic Training*, 40(1), 41-46.
32. Cowan, D. N., Jones, B.H., Robinson, J. R. Foot morphologic characteristics and risk of exercise-related injury. (1993). *Archives of Family Medicine*, 2(7), 773-777.
33. Dahle, L. K., Muelle, M., Delitto, A., Diamond, J. E. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury. (1991). *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 14(2), 70-74.
34. Dallinga, J. M., Does, van der, Henrike, T.D., Benjaminse, A., Lemmink, Koen A. P. M. Dynamic postural stability differences between male and female players with and without ankle sprain. (2016). *Physical therapy in sport*, 17, 69-75.

35. Devita, P., Skelly, W. A. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. (1992). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(1), 108-115.
36. Diener, H. C., Dichgans, J., Guschlbauer, B., Mau, H. The significance of proprioception on postural stabilization as assessed by ischemia. (1984). *Brain research*, 296(1), 103-109.
37. Dingenen, B., Staes, F.F., Janssens, L. A new method to analyze postural stability during a transition task from double-leg stance to single-leg stance. (2013). *Journal of Biomechanics*, 46(13), 2213-2219.
38. Dobrijević, S., Moskovljević, L., Dabović, M. The influence of proprioceptive training on young rhythmic gymnasts balance. (2016). *Physical Education and Sport*, 14(2), 247-255.
39. Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., Caulfield, B., Ryan, J., Delahunt, E. Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: A prospective cohort analysis. (2016). *The American Journal of Sports Medicine*, 44(4), 995-1003.
40. Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J., Bleakley, C. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. (2014). *Sports Medicine*, 44(1), 123-140.
41. Donath, L., Roth, R., Hürlimann, C., Zahner, L., Faude, O. Pilates vs. balance training in health community-dwelling seniors: a 3-arm, randomized controlled trial. (2016). *International Journal of Sports Medicine*, 37(3), 202-210.
42. Engebretsen, A. H., Myklebust, G., Holme, I., Engebretsen, L., Bahr, R. Intrinsic risk factors for acute ankle injuries among male soccer players: a prospective cohort study. (2010). *Scand J Med Sci Sports*, 20(3), 403-410.
43. English, T., Howe, K. The effect of pilates exercise on trunk and postural stability and throwing velocity in college baseball pitchers: single subject design. (2007). *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 2(1), 8-12.
44. Eriksrud, O., Sæland, F. O., Federolf, P. A., Cabri, J. Functional mobility and dynamic postural control predict overhead handball throwing performance in elite female team handball players. (2019). *Journal of Sports Science and Medicine*, 18(1), 91-100.
45. Evans, T., Hertel, J., Sebastianelli, W. Bilateral deficits in postural control following lateral ankle sprain. (2004). *Foot & Ankle International*, 25(11), 833-839.
46. Fong, D. T-P., Hong, Y., Chan, L-K., Yung, P. S-H., Chanet K-M. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. (2007). *Sports Medicine*, 37(1), 73-94.

47. Fransz, D.P., Huurnink, A., Kingma, I., van Dieën, J. H. How does postural stability following a single leg drop jump landing task relate to postural stability during a single leg stance balance task? (2014). *Journal of Biomechanics*, 47(12), 3248-3253.
48. Fransz, D.P., Huurnink, A., Kingma, I., van Dieën, J. H. Time to stabilization in single leg drop jump landings: an examination of calculation methods and assessment of differences in sample rate, filter settings and trial length on outcome values. (2015), *Gait & Posture*, 41(1), 63-69.
49. Fransz, D.P., Huurnink, A., Boode, V.A., Kingma I., van Dieën, J. H. The effect of the stability threshold on time to stabilization and its reliability following a single leg drop jump landing. (2016a). *Journal of Biomechanics*. 49(3), 496-501.
50. Fransz, D.P., Huurnink, A., Boode, V.A., Kingma I., van Dieën, J. H. Time series of ground reaction forces following a single leg drop jump landing in elite youth soccer players consist of four distinct phases. (2016b). *Gait & Posture*, 50, 137-144.
51. Fraser, J. J., Koldenhoven, R. M., Jaffri, A. H., Park, J. S., Saliba, S. F., Hart, J. M., Hertel, J. Foot impairments contribute to functional limitation in individuals with ankle sprain and chronic ankle instability. (2020). *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(5), 1600–1610.
52. Friden, T., Zätterström, R., Lindstrand, A., Moritz, U. A stabilometric technique for evaluation of lower limb instabilities. (1989). *The American Journal of Sports Medicine*, 17(1), 118-122.
53. Fu, G. Q., Wah, Y. C., Sura, S., Jagadeesan, S., Chinnavan, E., Judson, J. P. E. Influence of rearfoot alignment on static and dynamic postural stability. (2018). *International journal of therapy and rehabilitation*, 25(12), 628-635.
54. Gerbino, P. G., Griffin, E. D., Zurakowski, D. Comparison of standing balance between female collegiate dancers and soccer players. (2007). *Gait & Posture*, 26(4), 501-507.
55. Gerstle, E. E., O'Connor, K., Keenan, K. G., Cobb, S. C. Foot and ankle kinematics during descent from varying step heights. (2007). *Journal of Applied Biomechanics*, 33(6), 453-459.
56. Gerstle, E. E., Keenan, K. G., O'Connor, K., Cobb, S. C. Lower extremity muscle activity during descent from varying step heights. (2018). *Journal of electromyography and kinesiology*, 42, 57-65.
57. Gioftsidou, A., Malliou, P., Pafis, G., Beneka, A., Godolias, G., Maganaris, C. N. The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability. (2006). *European Journal of Applied Physiology*, 96(6), 659–664.

58. Glass, S. M., Ross, S. E. Direction-specific signatures of sport participation in center of pressure profiles of division I athletes. (2021). *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(5), 1260-1272.
59. Goldie, P. A., Evans, O. M., Bach, T. M. Postural control following inversion injuries of the ankle. (1994). *The American Congress of Rehabilitation Medicine and the American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(9), 969-975.
60. Golomer, E., Dupui, P., Bessou, P. Spectral frequency analysis of dynamic balance in healthy and injured athletes. (1994). *Archives internationales de physiologie, de biochimie et de biophysique*, 102(3), 225-229.
61. Gribble, P. A., Hertel, J., Denegar, C. R., Buckley, W. E. The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. (2004). *Journal of Athletic Training*, 39(4), 321-329.
62. Gribble, P. A., Robinson, R. H. Alterations in knee kinematics and dynamic stability associated with chronic ankle instability. (2009). *Journal of Athletic Training*, 44(4), 350-355.
63. Gribble, P. A., Terada, M., Beard, M. Q., Kosik, K. B., Lepley, A. S., McCann, R. S., Pietrosimone, B. G., Thomas, A. C. Prediction of lateral ankle sprains in football players based on clinical tests and body mass index. (2016). *The American Journal of Sports Medicine*, 44(2), 460-467.
64. Gribble, P. A., Robinson, R. Differences in spatiotemporal landing variables during a dynamic stability task in subjects with CAI. (2010). *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), e63-e71.
65. Guan, Y., Bredin, S., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, L., Kaufman, K., Wu, N., Warburton, D. Bilateral difference between lower limbs in children practicing laterally dominant vs. non-laterally dominant sports. (2021). *European journal of sport science*, 21(8), 1092-1100.
66. Guskiewicz, K. M., Perrin, D. H. Effect of orthotics on postural sway following inversion ankle sprain. (1996). *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 23(5), 326-331.
67. Gwani, A. S., Asari, M. A., Mohd Ismail, Z. I. How the three arches of the foot intercorrelate. (2017). *Folia Morphologica*, 76(4), 682-688.
68. Han, S., Son, S. J., Kim, H., Lee, H., Seeley, M., Hopkins, T. Prelanding movement strategies among chronic ankle instability, coper, and control subjects. (2021). *Sports biomechanics*, 27, 1-17.



69. Hayashi, R., Miyake, A., Watanabe, S. The functional role of sensory inputs from the foot: stabilizing human standing posture during voluntary and vibration-induced body sway. (1988). *Neuroscience research*, 5(3), 203-213.
70. Heleno, L. R., da Silva, R. S., Shigaki, L., Araújo, C. G. A., Candido, C. R. C., Okazaki, V. H. A., Frisseli, A., Macedo, C. S. G. Five-week sensory motor training program improves functional performance and postural control in young male soccer players - A blind randomized clinical trial. (2016). *Physical Therapy in Sport*, 22, 74-80.
71. Hertel, J., Gay, M. R., Denegar, C. R. Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. (2002). *Journal of Athletic Training*, 37(2), 129-132.
72. Hertel, J., Braham, R. A., Hale, S. A., Olmsted-Kramer, L. C. Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability. (2006). *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 36(3), 131-137.
73. Hertel, J., Buckley, W. E., Denegar, C. R. Serial testing of postural control after acute lateral ankle sprain. (2001). *Journal of Athletic Training*, 36(4), 363-368.
74. Hiller, C. E., Refshauge, K. M., Beard, D. J. Sensorimotor control is impaired in dancers with functional ankle instability. (2004). *The American Journal of Sports Medicine*, 32(1), 216-223.
75. Hiller, C. E., Refshauge, K. M., Herbert, R. D., Kilbreath, S. L. Intrinsic predictors of lateral ankle sprain in adolescent dancers: a prospective cohort study. (2008). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(1), 44-48.
76. Holme, E., Magnusson, S. P., Becher, K., Bieler, T., Aagaard, P., Kjaer. The effect of supervised rehabilitation on strength, postural sway, position sense and re-injury risk after acute ankle ligament sprain. (1999). *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 9, 104-109.
77. Howenstein, J., Kipp, K., Sabick, M. Peak horizontal ground reaction forces and impulse correlate with segmental energy flow in youth baseball pitchers. (2020). *Journal of Biomechanics*, 108, 1-6.
78. Huang, T-H., Chou, L-W., Huang, C-Y., Wei, S-W., Tsai, Y-J., Chen, Y-J. H-reflex in abductor hallucis and postural performance between flexible flatfoot and normal foot. (2019). *Physical therapy in sport*, 37, 27-33.
79. Huurnink, A., Fransz, D. P., Kingma, I., Hupperets, M. D.W., van Dieën, J. H. The effect of leg preference on postural stability in healthy athletes. (2014). *Journal of Biomechanics*, 47(1), 308-312.

80. Hylton, B., Menz, M. E., Stephen, R.L. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. (2005). *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 60(12), 1546–1552.
81. Hyong, I. H., Kang, J. H. Comparison of dynamic balance ability in healthy university students according to foot shape. (2016). *The Journal of Physical Therapy Science*, 28(2), 661–664.
82. Irez, G. B. The relationship with balance, foot posture, and foot size in school of physical education and sports students. (2014). *Educational Research and Reviews*, 9(16), 551-554.
83. Isakov, E. Mizrahi, J. Is balance impaired by recurrent sprained ankle? (1997). *The British Journal of Sports Medicine*, 31, 65-67.
84. Jaber, H., Lohman, E., Daher, N., Bains, G., Nagaraj, A., Mayekar, P., Shanbhag, M., Alameri, M. Neuromuscular control of ankle and hip during performance of the star excursion balance test in subjects with and without chronic ankle instability. (2018). *PLOS ONE*, 13(8).
85. Jacobson, B. H., Thompson, B., Wallace, T., Brown, L., Rial, C. Independent static balance training contributes to increased stability and functional capacity in community-dwelling elderly people: a randomized controlled trial. (2011). *Clinical Rehabilitation*, 25(6), 549-556.
86. Jadcak, Ł., Grygorowicz, M., Wieczorek, A., Śliwowski, R. Analysis of static balance performance and dynamic postural priority according to playing position in elite soccer players. (2019). *Gait & Posture*, 74, 148-153.
87. Judge, J. O., Lindsey, C., Underwood, M., Winsemius, D. Balance improvements in older women: effects of exercise training. (1993). *Physical Therapy*, 73(4), 254-262.
88. Kamikura, S., Sakuraba, K., Miura, T. Effects of reach balance exercise on toe grip strength and balance in college basketball players. (2018). *The Japanese Association of Rehabilitation Medicine*, 3.
89. Karthikeyan, G., Jayraj, S. J., Narayanan, V. Effect of forefoot type on postural stability - a cross sectional comparative study. (2015). *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(2), 213-224.
90. Kawakami, Y., Yonetani, Y., Takao, R., Ogasawara, I., Mae, T., Nakata, K. Reproducibility of dynamic body balance measurement by center of foot pressure analysis immediately after single-leg hop landing. (2015). *The Kurume Medical Journal*, 62(3-4), 41-46.

91. Kloos, A. D., Heiss, D. G. 最新運動療法大全 基礎と実践&エビデンス情報. (2008). 渡邊昌, 中山彰一, 柳澤 健(監修), 産調出版株式会社, 東京, pp252-258.
92. Kim, J-A., Lim, O-B., Yi, C-H. Difference in static and dynamic stability between flexible flatfeet and neutral feet. (2014). *Gait & Posture*, 41(2), 546-550.
93. King, A. C., Wang, Z. Asymmetrical stabilization and mobilization exploited during static single leg stance and goal directed kicking. (2017). *Human movement science*, 54, 182-190.
94. Knight, A. C., Holmes, M. E., Chander, H., Kimble, A., Stewart, J. T. Assessment of balance among adolescent track and field athletes. (2016). *Sports Biomechanics*, 15(2), 169-179.
95. Kobayashi, T., Takabayashi, T., Kudo, S., Edama, M. The prevalence of chronic ankle instability and its relationship to foot arch characteristics in female collegiate athletes. (2020). *Physical therapy in sport*, 46, 162-168.
96. Kobayashi, T., Yoshida, M., Yoshida, M., Gamada, K. Intrinsic predictive factors of noncontact lateral ankle sprain in collegiate athletes: a case-control study. (2013). *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 1(7).
97. Koshino, Y., Samukawa, M., Chida, S., Okada, S., Tanaka, H., Watanabe, K., Chijimatsu, M., Yamanaka, M., Tohyama, H. Postural stability and muscle activation onset during double-to single-leg stance transition in flat-footed individuals. (2020). *Journal of Sports Science and Medicine*, 19(4), 662-669.
98. Kovacs, E. J., Birmingham, T. B., Forwell, L., Litchfield, R. B. Effect of training on postural control in figure skaters: a randomized controlled trial of neuromuscular versus basic off-ice training programs. (2004). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14(4), 215-224.
99. Kozinc, Ž., Šarabon, N. The effects of leg preference and leg dominance on static and dynamic balance performance in highly-trained tennis players. (2021a). *PLOS ONE*, 16(11).
100. Kozinc, Ž., Trajković, N., Šarabon, N.: Transient characteristics of body sway during single-leg stance in athletes with a history of ankle sprain. (2021b). *Gait & Posture*, 86, 205-210.
101. Kros, W., Keijsers, N. L. W., van Ochten, J.M., Bierma-Zeinstra, S. M. A., Middelkoop, M. v. Center of pressure during stance and gait in subjects with or without persistent complaints after a lateral ankle sprain. (2016). *Gait & Posture*, 48, 24-29.
102. Kunugi, S., Koumura, T., Myotsuzono, R., Masunari, A., Yoshida, N., Miyakawa S., Mukai N. Directions of single-leg landing affect multi-segment foot kinematics and dynamic postural stability in male collegiate soccer athletes. (2020,). *Gait & Posture*, 80, 285-291.

103. Larsen, E., Angermann, P. Association of ankle instability and foot deformity. (1990). *Acta orthopaedica Scandinavica*, 61(2), 136-139.
104. Leanderson, J., Eriksson, E., Nilsson, C., Wykman, A. Proprioception in classical ballet dancers. A prospective study of the influence of an ankle sprain on proprioception in the ankle joint. (1996). *The American Journal of Sports Medicine*, 24(3), 370-374.
105. Leanderson, J., Bergqvist, M., Rolf, C., Westblad, P., Wigelius-Roovers, S., Wredmark, T. Early influence of an ankle sprain on objective measures of ankle joint function. A prospective randomised study of ankle brace treatment. (1999). *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthrosc*, 7(1), 51-58.
106. Leanderson, J., Wykman, A., Eriksson, E. Ankle sprain and postural sway in basketball players. (1993). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1(3-4), 203-205.
107. Lee, S. P., Powers, C. M. Individuals with diminished hip abductor muscle strength exhibit altered ankle biomechanics and neuromuscular activation during unipedal balance tasks. (2014). *Gait & Posture*, 39(3), 933-938.
108. Leiros-Rodríguez, R., García-Soidan, J. L. Balance training in elderly women using public parks. (2014). *Journal of Women & Aging*, 26(3), 207-218.
109. Lin, C-F., Lee, I-J., Liao, J-H., Wu, H-W., Su, F-C. Comparison of postural stability between injured and uninjured ballet dancers. (2011). *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1324-1331.
110. Lin, C-W., Lin, C-F., Hsue, B-J., Su, F-C. A comparison of ballet dancers with different level of experience in performing single-leg stance on retiré position. (2014). *Motor Control*, 18(2), 199-212.
111. Lintz, F., Bernasconi, A., Baschet, L., Fernando, C., Mehdi, N., de Cesar Netto, C. Relationship between chronic lateral ankle instability and hindfoot varus using weight-bearing cone beam computed tomography. (2019). *Foot & Ankle International*, 40(10), 1175-1181.
112. Liu, K., Dierkes, C., Blair, L. A new jump-landing protocol identifies differences in healthy, coper, and unstable ankles in collegiate athletes. (2016). *Sports Biomechanics*, 15(3), 245-254.
113. Ljubojević, A., Bijelić, S., Zagorc, M., Radisavljević, L., Uzunović, S., Pantelić, K. Effects of proprioceptive training on balance skills among sport dance dancers. (2012). *Physical Education and Sport*, 10(3), 257-266.

114. Lopezosa-Reca, E., Gijon-Nogueron, G., Morales-Asencio, J. M., Cervera-Marin, J. A., Luque-Suarez, A. Is there any association between foot posture and lower limb-related injuries in professional male basketball players? A cross-sectional study. (2020). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 30(1), 46-51.
115. Mak, M. K., Ng, P. L. Mediolateral sway in single-leg stance is the best discriminator of balance performance for Tai-Chi practitioners. (2003). *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(5), 683-686.
116. MacWilliams, B. A., Choi, T., Perezous, M. K., Chao, E. Y., McFarland, E. G. Characteristic ground-reaction forces in baseball pitching. (1998). *The American journal of sports medicine*, 26(1), 66-71.
117. Malliou, P., Amoutzas, K., Theodosiou, A., Gioftsidou, A., Mantis, K., Pyliaididis, T., Kioumourtzoglou, E. Proprioceptive training for learning downhill skiing. (2004). *Perceptual and Motor Skills*, 99(1), 149-154.
118. Marsh, D. W., Richard, L. A., Williams, L. A., Lynch, K. J. The relationship between balance and pitching error in college baseball pitchers. (2004). *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 441-446.
119. Marsh, D. W., Richard, L. A., Verre, A. B., Myers, J. Relationships among balance, visual search, and lacrosse-shot accuracy. (2010). *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(6), 1507-1514.
120. Masu, Y., Muramatsu, K., Hayashi, N. Characteristics of sway in the center of gravity of badminton players. (2014). *The Journal of Physical Therapy Science*, 26(11), 1671-1674.
121. Matsuda, S., Demura, S., Uchiyama, M. Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports. (2008). *Journal of Sports Sciences*, 26(7), 775-779.
122. Maughan, K. K., Lowry, K. A., Franke, W. D., Smiley-Oyen, A. L. The dose-response relationship of balance training in physically active older adults. (2012). *Journal of aging and physical activity*, 20(4), 442-455.
123. McCann, R. S., Crossett, I. D., Terada, M., Kosik, K. B., Bolding, B. A., Gribble, P. A. Hip strength and star excursion balance test deficits of patients with chronic ankle instability. (2017). *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(11), 992-996.
124. McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T., Levenson, G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. (2000). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(4), 239-244.

125. McHugh, M. P., Tyler, T. F., Tetro, D. T., Mullaney, M. J., Nicholas, S. J. Risk factors for noncontact ankle sprains in high school athletes: the role of hip strength and balance ability. (2006). *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 464-470.
126. Mei-Dan, O., Kahn, G., Zeev, A., Rubin, A., Constantini, N., Even, A., Nyska, M., Mann, G. The medial longitudinal arch as a possible risk factor for ankle sprains: a prospective study in 83 female infantry recruits. (2005). *Foot & Ankle International*, 26(2), 180-183.
127. Meiners, K. M., Loudon, J. K. Dynamic and static assessment of single-leg postural control in female soccer players. (2020). *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(2), 174-178.
128. Milgrom, C., Shlamkovitch, N., Finestone, A., Eldad, A., Laor, A., Danon, Y. L., Lavie, O., Wosk, J., Simkin, A. Risk factors for lateral ankle sprain: a prospective study among military recruits. (1991). *Foot & Ankle*, 12(1), 26-30.
129. Mohamadi, S., Ebrahimi, I., Salavati, M., Dadgoo, M., Jafarpisheh, A. S., Rezaeian, A. S. Attentional demands of postural control in chronic ankle instability, copers and healthy controls: A controlled cross-sectional study. (2020). *Gait & Posture*, 79, 183-188.
130. Mun, K-R., Chun, S., Hong, J., Kim, J. The relationship between foot feature parameters and postural stability in healthy subjects. (2019). *The journal of the Human Factors Society*, 61(7), 1077-1085.
131. Murata, K., Kumai, T., Hirose, N. Lateral ankle sprains and their association with physical function in young soccer players. (2021). *Open Access Journal of Sports Medicine*, 12(12), 1-10.
132. Nakagawa, L., Hoffman, M. Performance in static, dynamic, and clinical tests of postural control in individuals with recurrent ankle sprains. (2004). *Journal of Sport Rehabilitation*, 13(3), 255-268.
133. Nawata, K., Nishihara, S., Hayashi, I., Teshima, R. Plantar pressure distribution during gait in athletes with functional instability of the ankle joint: preliminary report. (2005). *Journal of Orthopaedic Science*, 10(3), 298-301.
134. Noronha, M. d., França, L. C., Haupenthal, A., Nunes, G. S. Intrinsic predictive factors for ankle sprain in active university students: a prospective study. (2013). *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(5), 541-547.
135. Nunes, G. S., Noronha, M. d. Postural stabilization after single-leg vertical jump in individuals with chronic ankle instability. (2016). *Physical therapy in sport*, 22, 88-93 .
136. Olmsted, L. C., Carcia, C. R., Hertel, J., Shultz, S. J. Efficacy of the star excursion balance tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. (2002). *Journal of*

Athletic Training, 37(4), 501-506.

137. Olsen, M. T., Bruening, D. A., Johnson, A. W., Ridge, S. T. The role of the midfoot in drop landings. (2019). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 114-122.
138. Paillard, T., Noé, F., Rivière, T., Marion, V., Montoya, R., Dupui, P. Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition. (2006). *Journal of Athletic Training*, 41(2), 172-176.
139. Pau, M., Ibba, G., Leban, B., Scorcu, M. Characterization of static balance abilities in elite soccer players by playing position and age. (2014). *Research in Sports Medicine*, 22(4), 355-367.
140. Pau, M., Loi, A., Pezzotta, M. C. Does sensorimotor training improve the static balance of young volleyball players? (2012). *Sports Biomechanics*, 11(1), 97-107.
141. Perrin, P. P., Béné, M. C., Perrin, C. A., Durupt, D. Ankle trauma significantly impairs posture control--a study in basketball players and controls. (1997). *International Journal of Sports Medicine*, 18(5), 387-392.
142. Platzer, H-P., Raschner, C., Patterson, C. Performance-determining physiological factors in the luge start. (2009a). *Journal of Sports Science*, 27(3), 221-226.
143. Platzer, H-P., Raschner, C., Patterson, C., Lember, S. Comparison of physical characteristics and performance among elite snowboarders. (2009b). *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(5), 1427-1432.
144. Pontaga I. Ankle joint evtor-invertor muscle torque ratio decrease due to recurrent lateral ligament sprains. (2004). *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 19(7), 760-762.
145. Posner, M., Cameron, K. L., Wolf, J. M., Belmont, P. J. Jr., Owens, B. D. Epidemiology of major league baseball injuries. (2011). *The American journal of sports medicine*, 39(8), 1676-1680.
146. Powell, D. W., Hanson, N. J. Frontal plane landing mechanics in high-arched compared with low-arched female athletes. (2012). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(5), 430-435.
147. Refshauge, K. M., Kilbreath, S. L., Raymond J. Deficits in detection of inversion and eversion movements among subjects with recurrent ankle sprains. (2003). *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(4), 166-173.
148. Riemann, B. L., Lephart, S. M. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. (2002). *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71-79.

149. Rose, A., Lee, R. J., Williams, R. M., Thomson, L. C., Forsyth, A. Functional instability in non-contact ankle ligament injuries. (2000). *The British Journal of Sports Medicine*, 34(5), 352-358.
150. Ross, S. E., Guskiewicz, K. M., Yu, B. Single-leg jump-landing stabilization times in subjects with functionally unstable ankles. (2005). *Journal of Athletic Training*, 40(4), 298-304.
151. Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Sterner, R., Kuligowski, L. Balance training for persons with functionally unstable ankles. (1999). *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 29(8), 478-486.
152. Rubin, G., Witten, M. The unstable ankle. (1964). *Bulletin - Hospital for Joint Diseases (New York, N.Y.)*, 25, 179-190.
153. Ryu, C. H., Park, J., Kang, M., Oh, J. H., Kim, Y. K., Kim, Y. Il., Lee, H. S., Seo, S. G. Differences in lower quarter Y-balance test with player position and ankle injuries in professional baseball players. (2019). *Journal of Orthopaedic Surgery*, 27(1), 1-7.
154. Saghazadeh, M., Kitano, N., Okura, T. Gender differences of foot characteristics in older Japanese adults using a 3D foot scanner. (2015). *Journal of Foot and Ankle Research*, 8(29).
155. Saghazadeh, M., Tsunoda, K., Soma, Y., Okura, T. Static foot posture and mobility associated with postural sway in elderly women using a three-dimensional foot scanner. (2015). *Journal of American Podiatric Medical Association*, 105(5), 412-417.
156. Saki, F., Yalfani, A., Fousekis, K., Sodejani, S. H., Ramezani, F. Anatomical risk factors of lateral ankle sprain in adolescent athletes: a prospective cohort study. (2021). *Physical therapy in sport*, 48, 26-34.
157. Sales, M., Polman, R., Hill, K. D., Levinger, P. A novel exercise initiative for seniors to improve balance and physical function. (2017). *Journal of Aging and Health*, 29(8), 1424-1443.
158. Salhab, H., Fares, M., Khachfe, H., Fares, J. Musculoskeletal lower limb injuries in major league baseball. (2019). *Physical therapy in sport*, 39C, 38-43.
159. Santello, M. Review of motor control mechanisms underlying impact absorption from falls. (2005). *Gait & Posture*, 21(1), 85-94.
160. Sell, T. C., Tsai, Y-S., Smoliga, J. M., Myers, J. B., Lephart, S. M. Strength, flexibility, and balance characteristics of highly proficient golfers. (2007). *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1166-1171.



161. Shahi, P., Ghaffari, M.S., Mansournia, M., Farzin, M. H. Risk Factors influencing the incidence of ankle sprain among elite football and basketball players: a prospective study. (2021). *Foot and Ankle Specialist*, 14(6), 482-488.
162. Shambaugh, J. P., Klein, A., Herbert, J. H. Structural measures as predictors of injury basketball players. (1991). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(5), 522-527.
163. Shiravi, Z., Shadmehr, A., Moghadam, S. T., Moghadam, B. A. Comparison of dynamic postural stability scores between athletes with and without chronic ankle instability during lateral jump landing. (2017). *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 7(1), 119-124.
164. Simoneau, G.G., Heiderscheit, B. C. 筋骨格系のキネシオロジー 原著第3版. (2019). 医歯薬出版株式会社, 東京, pp718-720.
165. Sinsurin, K., Vachalathiti, R., Jalayondeja, W., Limroongreungrat W. Altered peak knee valgus during jump-landing among various directions in basketball and volleyball athletes. (2013). *Asian Journal of Sports Medicine*, 4(3), 195-200.
166. Snyder, N., Cinelli, M. Comparing balance control between soccer players and non-athletes during a dynamic lower limb reaching task. (2020). *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 91(1), 166-171.
167. Steib, S., Zech, A., Hentschke, C., Pfeifer, K. Fatigue-induced alterations of static and dynamic postural control in athletes with a history of ankle sprain. (2013). *Journal of Athletic Training*, 48(2), 203-208.
168. Stemm, J. D., Jacobson, B. H., Royer, T. D. Comparison of stability and weight shift among golfers grouped by skill level. (2006). *Perceptual and Motor Skills*, 103(3), 685-692.
169. Strauss, J. E., Forsberg, J. A., Lippert 3rd, F. G. Chronic lateral ankle instability and associated conditions: a rationale for treatment. (2007). *Foot & Ankle International*, 28(10), 1041-1044.
170. Swenson, D. M., Yard, E. E., Fields, S. K., Comstock, R. D. Patterns of recurrent injuries among US high school athletes, 2005-2008. (2009). *The American Journal of Sports Medicine*, 37(8), 1586-1593.
171. Tomaru, Y., Kamada, H., Tsukagoshi, Y., Nakagawa, S., Tanaka, K., Takeuchi, R., Mataka, Y., Kimura, M., Miyakawa, S., Yamazaki, M. Determining the relationship between physical status and musculoskeletal injuries in children: a cohort study. (2020). *Journal of Rural Medicine*, 15(3), 116-123.
172. Trajković, N., Kozinc, Ž., Smajla, D., Šarabon, N. Relationship between ankle strength and range of motion and postural stability during single-leg quiet stance in trained athletes.

- (2021). *Scientific Reports*, 11(1), 11749.
173. Trojian, T. H., McKeag, D. B. Single leg balance test to identify risk of ankle sprains. (2006). *The British Journal of Sports Medicine*, 40(7), 610-613.
174. Tropp, H., Odenrick, P. Postural control in single-limb stance. (1988). *Journal of orthopaedic research*, 6(6), 833-839.
175. Tropp, H., Ekstrand, J., Gillquist, J. Factors affecting stabilometry recordings of single limb stance. (1984). *The American Journal of Sports Medicine*, 12(3), 185-188.
176. Tsai, L-C., Yu, B., Mercer, V. S., Gross, M. T. Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. (2006). *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(12), 942-953.
177. Tsang, W. W. N., Hui-Chan C. W. Y. Static and dynamic balance control in older golfers. (2010). *Journal of Aging and Physical Activity*, 18(1), 1-13.
178. Valderrabano, V., Hintermann, B., Horisberger, M., Fung, T. S. Ligamentous posttraumatic ankle osteoarthritis. (2006). *The American Journal of Sports Medicine*, 34(4), 612-620.
179. Van Bergeyk, A. B., Younger, A., Carson, B. CT analysis of hindfoot alignment in chronic lateral ankle instability. (2002). *Foot & Ankle International*, 23(1), 37-42.
180. Vuillerme, N., Danion, F., Marin, L., Boyadjian, A., Prieur, J. M., Weise, I., Nougier, V. The effect of expertise in gymnastics on postural control. (2001). *Neuroscience letters*, 303(2), 83-86.
181. Vuillerme, N., Nougier, V. Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics. (2004). *Brain research bulletin*, 63(2), 161-165.
182. Walsh, M., Slattery, E., McMath, A., Cox, R., Haworth, J. Training history constrains postural sway dynamics: A study of balance in collegiate ice hockey players. (2018). *Gait & Posture*, 66, 278-282.
183. Wang, H-K., Chen, C-H., Shiang, T-Y., Jan, M-H., Lin, K-H. Risk-factor analysis of high school basketball-player ankle injuries: a prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength, and flexibility. (2006). *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(6), 821-825.
184. Wells, G. D., Elmi, M., Thomas, S. Physiological correlates of golf performance. (2009). *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(3), 741-750.

185. Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Borsa, P. A. Detection of dynamic stability deficits in subjects with functional ankle instability. (2005). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(2), 169-175.
186. Wikstrom, E. A., Fournier, K. A., McKeon, P. O. Postural control differs between those with and without chronic ankle instability. (2010a). *Gait & Posture*, 32(1), 82-86.
187. Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Chmielewski, T. L., Cauraugh, J. H., Borsa, P. A. Dynamic postural stability deficits in subjects with self-reported ankle instability. (2007). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(3), 397-402.
188. Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Chmielewski, T. L., Cauraugh, J. H., Naugle, K. E., Borsa, P. A. Dynamic postural control but not mechanical stability differs among those with and without chronic ankle instability. (2010b). *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), e137-e144.
189. Wikstrom, E. A., Hubbard-Turner, T., McKeon, P. O. Understanding and treating lateral ankle sprains and their consequences: a constraints-based approach. (2013). *Sports Medicine*, 43(6),
190. Winter, D. A., Patla, A.E., Prince, F., Ishac, M., Gielo-Perczaket, K. Stiffness control of balance in quiet standing. (1998). *The Journal of Neurophysiology*, 80(3), 1211-1221.
191. Wilczynski, B., Hincă, J., Slezak, D., Zorena, K. The relationship between dynamic balance and jumping tests among adolescent amateur rugby players. (2021). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 312.
192. Willems, T. M., Witvrouw, E., Verstuyft, J., Vaes, P., Clercq, D. D. Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. (2002). *Journal of Athletic Training*, 37(4), 487-493.
193. Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Cock, A. D., Clercq, D. D. Relationship between gait biomechanics and inversion sprains: a prospective study of risk factors. (2005a). *Gait & Posture*, 21(4), 379-387.
194. Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Mahieu, N., De Bourdeaudhuij, I., De Clercq, Dirk. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: a prospective study. (2005b). *The American Journal of Sports Medicine*, 33(3), 415-423.
195. Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Philippaerts, R., Bourdeaudhuij, I. D., Clercq, D. D. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in females--a prospective study. (2005c). *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(5), 336-345.

196. Williams 3rd, D. S., McClay, I. S., Hamill, J. Arch structure and injury patterns in runners. (2001). *Clinical biomechanics (Bristol)*, 16(4), 341-347.
197. Wojciechowska-Maszkowska, B., Marcinów, R., Iskra, J., Tataruch, R. Postural stability in athletes during special hurdle tests without a definite dominant Leg. (2020). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 172.
198. Wolf, S. L., Barnhart, H. X., Ellison, G. L., Coogler, C. E. The effect of Tai Chi Quan and computerized balance training on postural stability in older subjects. Atlanta FICSIT group. Frailty and injuries: cooperative studies on intervention techniques. (1997). *Physical Therapy*, 77(4), 371-381.
199. Wolfson, L., Whipple, R., Derby, C., Judge, J., King, M., Amerman, P., Schmidt, J., Smyers., D. Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. (1996). *Journal of the American Geriatrics Society*, 44(5), 498-506.
200. Wong, T. K. K., Ma, A. W. W., Liu, K. P. Y., Chung, L. M. Y., Bae, Y-H., Fong, S. S. M., Ganesan, B., Wang, H-K. Balance control, agility, eye-hand coordination, and sport performance of amateur badminton players A cross-sectional study. (2019). *Medicine*, 98(2).
201. Wright, C. J., Arnold, B. L., Ross, S. E. Altered kinematics and time to stabilization during drop-jump landings in individuals with or without functional ankle instability. (2016). *Journal of Athletic Training*, 51(1), 5-15.
202. 池内誠, 柳田育久, 杉本拓也, 藤高紘平, 大槻伸吾. 大久保衛. 大学野球投手における片脚立位安定性と肩・肘の痛みの関係. (2012). *関西臨床スポーツ医・科学研究会誌*, 21, 17-18.
203. 池上康男, 桜井伸二. *バイオメカニクス 身体運動の科学的基礎*. (2004). 株式会社 杏林書院, 東京, pp121-122.
204. 石橋敏郎. なぜ予測制御と姿勢制御が必要か. 下肢疾患の加速的リハビリテーション 在院日数短縮への道標. (1999). 井原秀俊編集. 株式会社 南江堂, 東京, p52.
205. 牛山潤一, 政二慶, 村松憲, 奥山静代, 村山光義, 佐々木玲子. 様々な重心動揺指標を用いた本塾塾生の平衡機能の評価. (2008). *慶應義塾大学体育研究所起要*, 47(1), 13-24.
206. 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. (1989). *臨床スポーツ医学*, 6, 336-339.
207. 大路駿介, 相澤純也, 廣幡健二, 大見武弘, 柳下和慶. 片脚前方ジャンプ着地における着地前空中時期の矢状面体幹・下肢関節角度と床反力後方成分の関連. (2017). *理学療法科学*, 32(6), 751-755.

- 208.大谷和寿, 植野淳一, 小玉耕平. 運動場面における足の一側優位性について(第2報). (1990). 島根大学教育学部紀要(教育科学), 24(1), 29-33.
- 209.小笠原一生, 木村佳記, 佐藤睦美, 川上由紀子, 中田研. 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. (2016). 臨床バイオメカニクス, 37, 311-317.
- 210.蔭山雅洋, 鈴木智晴, 藤井雅文, 中本浩揮, 和田智仁, 前田明. 野球投手におけるマウンドと平地からの投球のバイオメカニクスの比較: 投球速度および投球動作中の下肢および体幹の動作に着目して. (2016). 体育学研究, 61(2), 517-535.
- 211.木藤伸宏, 井原秀俊, 三輪恵, 神谷秀樹, 島沢真一, 馬場八千代, 田口直彦. 高齢者の転倒予防としての足指トレーニングの効果. (2001). 理学療法学, 28(7), 313-319.
- 212.木村佳記, 佐藤睦美, 井上悟, 倉林準, 向井公一, 橋本雅至, 小柳磨毅. フォワードランジにおける前脚の動作解析. (2004). 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 25, 425-429.
- 213.越野裕太. 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. (2018). 株式会社メジカルビュー社, 東京, pp88-89.
- 214.小林匠, 三木貴弘. 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. (2018). 株式会社メジカルビュー社, 東京, p45. pp110-118.
- 215.齊藤惇, 山中正竹. 公認野球規則 2020 Official Baseball Rules. (2020). 株式会社ベースボール・マガジン社, 東京, p2.
- 216.佐藤真樹, 小林寛和, 金村朋直, 岡戸敦男, 熊澤雅樹. アーリーコッキング期における投球動作の特徴と足部内側縦アーチの関係. (2016). スポーツ医・科学, 27, 5-8.
- 217.塩田悦二. カパンジー機能解剖学II. 下肢. (2019). 医歯薬出版株式会社, 東京, pp256-261.
- 218.清水新悟, 長井力, 元田英一, 大日方五郎. 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. (2013). スポーツ産業研究, 23(1), 11-17.
- 219.清水新悟, 前田健博, 加藤幸久, 佐々木克則, 内田俊彦. フットプリント上での外反母趾角と内反小趾角の評価検討. (2010). 日本足の外科学会雑誌, 31(2), 35-39.
- 220.鈴木哲, 平田淳也, 栗木鮎美, 富山農, 植田一輝, 小田佳奈枝, 高橋正弘, 渡邊進. 片脚立位時の体幹筋活動と重心動揺との関係. (2009). 理学療法科学, 24(1), 103-107.
- 221.杉山恭二, 木村佳記, 高木啓至, 鎌田理之, 佐藤睦美, 井上悟, 前達雄, 北圭介, 中田研. 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. (2011). 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 21, 33-36.

- 222.田中洋, 立花孝, 大井雄紀, 二宮裕樹, 駒井正彦, 信原克哉, 林豊彦, 佐志隆士. 投球動作のバイオメカニクスと運動連鎖 投球動作のバイオメカニクスと投球障害. (2012). 臨床スポーツ医学, 29(1), 47-54.
- 223.谷口達也, 三木貴弘. 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. (2018). 株式会社メジカルビュー, 東京, pp135-151.
- 224.筒井廣明, 山口光國. 整形外科と理学療法士からのアドバイス 投球障害肩こう診てこう治せ. (2020). 株式会社メジカルビュー, 東京, p113.
- 225.中尾英俊, 橋本雅至. 教科書にはない敏腕 PT のテクニック 臨床実践 足部・足関節の理学療法. (2017). 株式会社文光堂, 東京, p75.
- 226.西野勝敏, 大熊伸江. バドミントン競技のフロントコート・フォアハンド・リフト動作における踏込脚の動力学的分析. (2014). シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集.
- 227.西村純, 市橋則明, 南角学, 中村孝志. スポーツ選手における足関節捻挫受傷に影響を及ぼす因子の検討. (2011). 臨床バイオメカニクス, 32, 521-525.
- 228.長谷公隆. 立位姿勢の制御. (2006). リハビリテーション医学, 43 (8), 542-553.
- 229.平野裕一. バイオメカニクス 身体運動の科学的基礎. (2004). 株式会社 杏林書院, 東京, pp294-.297
- 230.比留間浩介, 尾縣貢. 各種パワー発揮能力からみた野球選手における投手と野手の体力特性: フィールドテストのデータをもとに. (2011). 体育学研究, 56(1), 201-213.
- 231.松田直樹. 公認アスレティックトレーナー専門科目テキスト 第5巻 検査・測定と評価. (2017). 公益財団法人日本スポーツ協会, 株式会社文光堂, 東京, pp136-137.
- 232.三木貴弘, 鴫田拓也. 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. (2018). 株式会社メジカルビュー, 東京, pp157-165
- 233.光井信介. 野球選手の投手と野手の違いと足趾筋力との関係. (2019). 理学療法科学, 34(5), 549-552.
- 234.宮下浩二. 投球動作のバイオメカニクスと運動連鎖 運動連鎖から見た投球動作. (2012). 臨床スポーツ医学, 29(1), 55-60.
- 235.宮下浩二. 公認アスレティックトレーナー専門科目テキスト 第5巻 検査・測定と評価. (2016). 公益財団法人日本スポーツ協会, 株式会社文光堂, 東京, pp155-157.

- 236.村田伸. 開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連－健常女性を対象とした検討－. (2004). 理学療法学, 19(3), 245-249.
- 237.矢倉千昭, 松田理咲, 中原雅美, 木原勇夫. 日本人若年成人女性における全身関節弛緩と足部構造との関連. (2014). ヘルスプロモーション理学療法研究. 3(4), 151-156.
- 238.安田良子, 栗原俊之, 篠原靖司, 伊坂忠夫. 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. (2021). 理学療法科学, 36(3), 345-352.
- 239.安田良子, 栗原俊之, 篠原靖司, 伊坂忠夫. 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－. (2022). 理学療法科学, 37(1), 77-86.
- 240.安田良子, 栗原俊之, 篠原靖司, 伊坂忠夫. 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. (2022). 日本臨床スポーツ医学会誌, 30(3), ページ数未定.
- 241.山口善久. 正常成人歩行時における足横アーチの変化. (1992). 長崎医学会雑誌, 67(4), 223-235.
- 242.山下謙智. 多関節運動学入門. (2007). 有限会社ナッフ, 東京, pp57-60
- 243.山田慎. 野球選手の下肢傷害傾向. (2013). 日本整形外科スポーツ医学会雑誌, 33(2), 154-158.
- 244.横山茂樹, 高柳公司, 松坂誠應, 大城昌平, 金々江光生, 東英文. 足底部感覚情報が立位姿勢調整および歩行運動に及ぼす影響. (1995). 理学療法学, 22(3), 125-128.
- 245.吉田充. 大学生の足部アライメントと足趾把持力の関連性. (2015). 北海学園大学経営論集, 13(2), 23-31.
- 246.与那正栄, 室増男, 下敷領光一, 永田晟. 筋力トレーニングに伴う反応時間の変化. (1990), 体力科学, 39 (5), 307-314.

## 謝辞

本博士学位論文の執筆にあたり、多くの方々にご指導、ご支援を賜りましたことをここに深く感謝申し上げます。

研究指導担当教員として、本研究の遂行、論文執筆ならびに学位論文の申請に際し、明晰かつ丁寧なご指導、ご校閲を賜り、研究者や大学教員として過ごすための所作、心持ちについても親身なご助言をいただきました。立命館大学スポーツ健康科学部 伊坂忠夫教授に心から感謝の意を表すとともに、厚く御礼申し上げます。

立命館大学総合科学技術研究機構 栗原俊之准教授（現：国士舘大学理工学部）には、本研究の遂行や論文執筆にあたり、長きにわたって丁寧なご指導をいただきました。栗原先生には、数多くのアイデアをご教示いただき、物事を多面的に捉える視点や考え方、研究的な思考についてご教授いただきました。心より感謝の意を表し、ここに御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

立命館大学スポーツ健康科学部 篠原靖司教授には、博士課程後期課程への進学の際にご助言を賜り、本研究の遂行や論文執筆の際には丁寧なご指導をいただきました。篠原先生には、研究者として必要な心構え、研究を臨床現場へ応用する考え方や発想をご教授いただきました。また、副査を引き受けていただき、的確なご助言を賜り、本博士論文を洗練することができました。深く感謝申し上げます。

また、ご多忙にもかかわらず副査を引き受けていただきました。早稲田大学スポーツ科学部 熊井司教授、立命館大学スポーツ健康科学部 塩澤成弘教授には、丁寧かつ詳細にご助言いた



だき、貴重なご意見を賜りましたことをここに厚く御礼申し上げます。

研究や実験に際して、ご協力くださいました、本研究対象者の野球選手の皆様、監督およびコーチ、野球部部長や副部長の先生方に心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

研究活動、アスレティックトレーナー活動を遂行するにあたり、ご助言、ご支援をいただきました、常葉大学健康プロデュース学部 小柳好生教授、びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部 佃文子教授、大阪大学大学院医学系研究科 小笠原一生先生に心より感謝申し上げます。

研究ゼミナールにおいてご指導、ご助言ならびにご支援をいただきました立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科伊坂研究室の皆様、立命館大学スポーツ健康科学部助教および講師の先生方に心より御礼申し上げます。

研究活動を遂行するにあたり、ご支援をいただきました、武庫川女子大学健康・スポーツ科学部の先生方や助手の皆様、アスレティックトレーナー 片淵建氏、神戸市立太山寺中学校 坂本真奈美教諭に心から御礼申し上げます。

最後になりますが、仕事と大学院における学生生活を様々な面で支え、励ましていただいた家族をはじめ、関わってくださったすべての方々へ心より感謝の意を表し、謝辞とさせていただきます。

本博士論文は多くの方々のお力添えにより完成いたしましたことを忘れず、研究成果をスポーツ現場へ還元し、現場と研究の橋渡し役となるよう尽力いたします。

今後とも、ご指導、ご鞭撻のほど、よろしくお願い申し上げます。

2022年9月 安田 良子

