

2021年度 3月修了 修士論文

女子野球選手における投球動作時の
3次元動作解析および筋活動解析

Three-dimensional motion analysis and muscle activity analysis
during pitching motion in female baseball players

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5020A060-3

松本 美瑛

研究指導教員： 金岡 恒治 教授

第 1 節	緒言	1
第 2 節	方法	4
2-1.	対象者	4
2-2.	実験手順	4
2-3.	実験環境	6
2-4.	動作計測	7
2-4-1)	赤外線マーカー貼付位置	7
2-4-2)	セグメント座標系の設定	8
2-5.	筋活動計測	10
2-5-1)	電極貼付	10
2-5-2)	最大等尺性随意収縮	12
2-6.	データ解析	14
2-6-1)	期分け	14
2-6-2)	角度の算出	15
2-6-3)	筋活動量の算出	17
2-7.	統計処理	17
第 3 節	結果	19
3-1.	対象者特性	19
3-2.	肩関節 90 度外転位静止立位姿勢	21
3-3.	投球時の各関節角度	23
3-3-1)	各タイミングにおける各関節標準化角度の男女比較	23

3-3-2) 球速の違いによる各タイミングにおける各関節標準化角度の比較	29
3-4. 女子における投球時の筋活動	35
第 4 節 考察	50
4-1. 投球時の踏込側下肢について	50
4-2. 投球時の体幹回旋について	55
4-3. 投球時の肩関節角度について	56
4-4. 研究の限界	58
第 5 節 結論	60
参考文献	61
謝辞	65

第 1 節 緒言

野球の投球は、下肢から生じた力を骨盤、体幹を経て、投球腕に伝達するという一連の動きを協調して行う複雑な動作である¹⁾。投球時のキネマティクスの違いは球速やコントロールなどのパフォーマンスや、傷害発生リスクに影響すると考えられている。球速の違いによる投球キネマティクスの違いを比較した研究では、球速の速い投手は遅い投手に比べて肩最大外旋角度が大きい²⁾こと、ボールリリース時の体幹前傾角度が大きい³⁾こと、踏込足接地からボールリリースにかけて踏込膝が伸展する³⁾ことなどが報告されている。近年ではこのように、投球腕に加えて体幹や下肢など全身の部位を考慮した、より全体的なモデルでの投球バイオメカニクス評価⁴⁾が様々なカテゴリで行われている。また、アメリカ人投手は韓国人投手⁵⁾および日本人投手⁶⁾に対して、複数の投球キネマティクスに違いがあることが報告されており、上・下肢長や筋力、マウンドの硬さの違いが原因であると考察されている。これらの研究から、競技年数やスキルのみならず、骨格や筋力、投球環境⁶⁾などあらゆる要因が投球キネマティクスの違いを生み、球速や傷害発生リスクに影響を及ぼすことがわかる。

近年、日本における野球人口は減少傾向にある一方、女子の野球人口は急激に増加している。全国高等学校女子硬式野球連盟加盟校は、2006年の5校から2021年現在43校まで増加した⁷⁾。競技人口の増加に伴い、女子野球選手を対象にした研究も散見されるようになった。大学女子野球選手における野球部活動中のスポーツ傷害経験を調査した研究では、女子野球選手も男子同様に肩・肘・腰部障害が多いことが報告されている⁸⁾。野球選手に頻発する肘関節障害のひとつ

つに、過剰な肘関節外反ストレスを繰り返すことで起こる内側肘障害がある。肘の外反ストレスは、抗するために同等に加わる内反トルク⁹⁾により評価でき、球速¹⁰⁾や投球フォーム¹¹⁾と関連すると報告されている。しかし東ら¹²⁾によると、女子野球投手において肘関節最大内反トルクは球速との相関がなく、投球フォームが肘内反トルクに影響することが明らかになっている。つまり、男子において球速が速いフォームは肘内反トルクが大きくなると考えることができるが、女子において肘内反トルクの大きいフォームと球速に関連はなかった。このことから、球速と投球フォームの関係が男女で異なる可能性がある。前述した球速と関連がある投球キネマティクスに関する研究は全て男子選手を対象にしているため、女子投手において、球速に関連する投球キネマティクスを明らかにする必要がある。

一般に、男女は身体的特徴に様々な違いがあり、歩行¹³⁾、スクワット¹⁴⁾、やり投げ¹⁵⁾やバレーボールのスパイクジャンプ¹⁶⁾などの動作にも男女で違いがあることが報告されている。男女野球投手の投球動作を比較した研究はわずかに存在する。アメリカの男女エリート野球投手の投球動作を比較した研究¹⁷⁾では、女子は男子に比べて、身長あたりのステップ幅が短く、非投球側(右投手の場合、一塁側)に接地していること、踏込足接地時の骨盤と胸郭の回旋角度の差が小さいこと、踏込足接地からボールリリースにかけて踏込膝伸展最大角速度が小さいことなどが報告されている。また、伊藤ら¹⁸⁾は、男女大学生投手において投球時の体幹回旋動作を比較し、女子は男子よりもボールリリース時の投球方向への体幹回旋が小さいことから、上肢の振りに依存していると考察した。しかしこれらの研

究は、サンプリングレートが120Hz以下の2台のカメラシステムによってデータ収集されている。高速運動である投球動作を解析するためには、サンプリングレート500Hz以上のモーションキャプチャシステムの利用が求められている¹⁹⁾ことから、より高い精度の3次元動作解析により男女の投球キネマティクスを比較する必要がある。また、男子において日本人とアメリカ人の投球キネマティクスに違いがある⁶⁾ことから、男女の投球動作の違いも国間で異なり、日本人特有の違いが発見される可能性がある。競技人口が増加している女子野球において、男子同様に多様な年齢・レベル・国籍などで動作の特徴を明らかにすることは、女子野球選手の傷害予防および競技力向上の一助になると考える。

そこで本研究の目的は、日本人の女子野球選手において球速の速い投手と球速の遅い投手の投球動作を比較すること、日本人の女子野球選手と男子野球選手の投球動作を比較することとした。また、女子野球選手において投球時の下肢・体幹・上肢の筋活動を解析し投球動作との関連を考察することで、球速の速い女子野球選手の投球動作の特徴を明らかにする。

第 2 節 方法

2-1. 対象者

対象者は関東大学女子軟式野球連盟、関東六大学女子軟式野球連盟、関東女子軟式野球連盟のいずれかに所属する女子軟式野球チームの選手 14 名（平均年齢：21±2 歳、平均身長：158.5±4.4cm、平均体重：52.6±6.8kg、平均野球歴：6±3 年）とした。包含基準は、対外試合に投手としての出場経験がある選手とし、除外基準は、投球側の肩および肘の手術歴のある選手、最大努力で投球動作を行えない選手とした。右投げの選手は 13 名、左投げの選手は 1 名であった。実験実施前に、対象者に実験の目的や内容、倫理的配慮に関して十分に説明し、書面にて実験参加の同意を得た。本研究は、早稲田大学研究倫理委員会の承認（2020-362）を得て実施した。

また、男女で比較するため、東京新大学野球連盟 2 部リーグに所属する大学硬式野球部の男子選手 17 名（平均年齢：20±1 歳、平均身長：171.9±4.8cm、平均体重：68.7±7.3kg、平均野球歴：13±1 年）のデータを比較対象とした。このデータは、2019 年に本研究と同環境で早稲田大学研究倫理委員会の承認（2019-166）を得て、本研究とは別の検査者が計測を行ったデータ²⁰⁾であり、右投げの選手が 15 名、左投げの選手が 2 名であった。

2-2. 実験手順

初めに、対象者に筋活動計測のための表面電極を貼付した後、コンプレッションウェアとシューズを着用させた。次に各筋の最大随意等尺性収縮を行わせ、無線筋電計(BioLog DL-5000、S&ME 社製)を

用いて筋活動を計測した。対象者に直径 16mm の赤外線反射マーカ
ー(QPM190、Qualysis AB)を貼付し、3次元動作解析装置(OQUS 300
plus、Qualysis 社製)にて静止立位姿勢の撮影を行った。その後、対
象者が普段練習前に実施している、全力投球ができる状態になるま
でのウォーミングアップやキャッチボールなどを十分に行う時間を
設け、硬式球(NPB 統一試合球 オーセンティックボール、
MIZUNO 社製) 10 球の全力投球を行い、その際の 3次元動作計測お
よび肩関節周囲・体幹・下肢筋群の筋活動計測を行った(図 1)。



図 1 実験手順

2-3. 実験環境

計測は室内で行い、対象範囲(M-75 幌布 88cm×88cm、ライト株式会社製)を取り付けた防球ネットから 5m 離れた位置を投球位置とした。3次元動作解析装置 8 台を用いて、投球動作開始から終了まで計測した。投球動作の計測における Sampling rate は 500Hz に設定した。ただし、比較対象である男子選手のデータ収集時の Sampling rate は 250Hz であった。また、投球動作におけるボールリリースの瞬間を確認するため、ハイスピードカメラ(EXILIM、CASIO 社製)1 台を設置し、Sampling rate 240Hz にて撮影した。3次元動作解析装置と同期したランプの点灯をハイスピードカメラで撮影することにより、ハイスピードカメラの映像と 3次元動作解析のデータを同期した。3次元動作解析装置におけるグローバル座標系の原点は投球位置とし、投球位置から投球方向を X 軸、X 軸に垂直かつ原点から対象範囲に正対し、左方向を Y 軸、原点から鉛直方向を Z 軸とした。球速は、防球ネットの側方に設置したスピードガン(BSG-1 Basic、ユピテル社製)を用いて計測した。各筋の筋活動は、3次元動作解析装置およびハイスピードカメラと同期した無線筋電計を用いて、体表上から計測し、Sampling rate は 1000Hz に設定した。

2-4. 動作計測

2-4-1) 赤外線マーカー貼付位置

対象者の動作解析を行うために、対象者の全身のランドマークに赤外線反射マーカーを貼付した（図 2）。（肩峰：SHO、上腕骨外側上顆：ELBA、上腕骨内側上顆 ELBB、橈骨茎状突起：WRA、尺骨茎状突起：WRB、胸骨上切痕：CLAV、胸骨剣状突起：STRN、第 7 頸椎：C7、第 7 胸椎：T7、上前腸骨棘：ASI、上後腸骨棘：PSI、大転子：FTC、大腿骨外側上顆：FLE、大腿骨内側上顆：FME、脛骨粗面：TT、外果：FAL、内果：TAM、踵骨：FCC、第 1 中足骨頭：FM1、第 5 中足骨頭：FM5）



図 2 マーカー貼付位置

2-4-2) セグメント座標系の設定

投球動作解析のために、全体を剛体リンクモデルと仮定し、各セグメントに座標系を設定する。本研究では前腕部、上腕骨、胸部、骨盤、大腿骨、下腿部に座標系を設定した。各座標系の設定方法について述べる（図3）。

・前腕部座標系

原点：WRA と WRB の中点と ELBA と ELBB の中点を結んだ線分の中点

X 軸：（右前腕部）WRB から WRA へ向かうベクトル、（左前腕部）WRA から WRB へ向かうベクトル

Y 軸：原点から ELBA と ELBB の中点へ向かうベクトルと X 軸との外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

・上腕骨座標系

原点：ELBA と ELBB の中点と SHO を結んだ線分の中点

X 軸：（右上腕骨）ELBB から ELBA へ向かうベクトル、（左上腕骨）ELBA から ELBB へ向かうベクトル

Y 軸：原点から SHO に向かうベクトルと X 軸の外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

・胸部座標系

原点：CLAV と STRN の中点と C7 と T7 の中点を結んだ線分の
中点

X 軸：Y 軸と原点から CLAV と C7 の中点に向かうベクトルの
外積

Y 軸：原点から CLAV と STRN の中点へ向かうベクトル

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

・ 骨盤座標系

原点：両 ASI と両 PSI の中点を結んだ線分の中点

X 軸：左 ASI から右 ASI へ向かうベクトル

Y 軸：Z 軸と X 軸の外積

Z 軸：X 軸と原点から両 ASI の中点に向かうベクトルの外積

・ 大腿骨座標系

原点：FLE と FME の中点と FTC を結んだ線分の中点

X 軸：(右大腿骨) FME から FLE へ向かうベクトル、(左大腿
骨) FLE から FME へ向かうベクトル

Y 軸：原点から FTC に向かうベクトルと X 軸の外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

・ 下腿部座標系

原点：FAL と TAM の中点と TT を結んだ線分の中点

X 軸：(右下腿部) TAM から FAL へ向かうベクトル、(左下腿
部) FAL から TAM へ向かうベクトル

Y 軸：原点から TT へ向かうベクトルと X 軸の外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

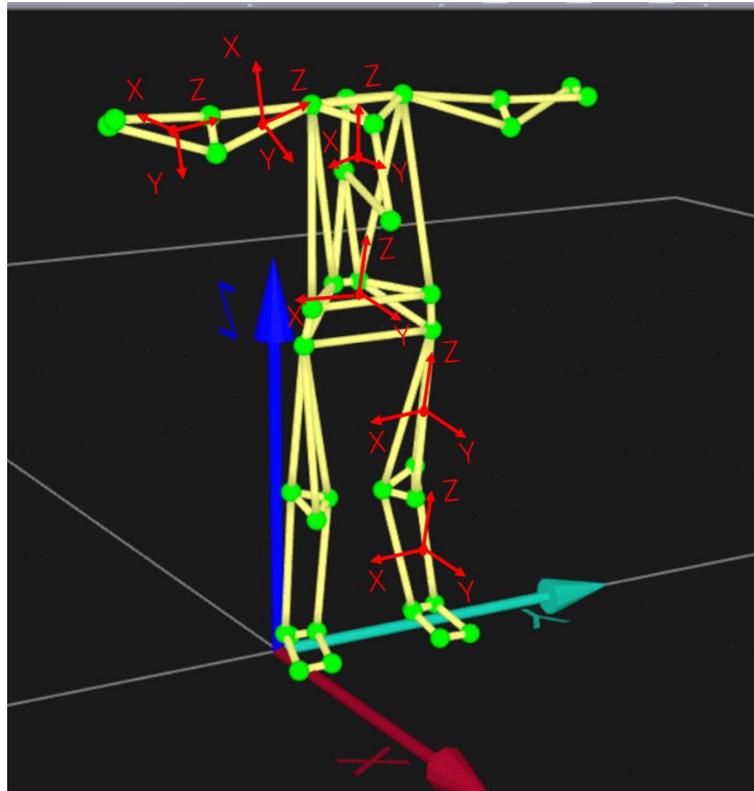


図 3 座標設定

2-5. 筋活動計測

2-5-1) 電極貼付

対象筋は、投球側の僧帽筋下部 (lower trapezius: LT)・広背筋 (latissimus dorsi: LD)・大胸筋 (pectoralis major: PM)・三角筋前部 (anterior deltoid: AD)・上腕二頭筋長頭 (biceps brachii: BB)・上腕三頭筋長頭 (triceps brachii: TB)、両側の外腹斜筋 (external oblique: EO)・内腹斜筋 (internal oblique: IO)・腰部脊柱起立筋 (erector spinae: ES)、非投球側の大殿筋 (gluteus maximus: GMax)・大腿二頭筋 (biceps femoris: BF)・大腿直筋 (rectus femoris: RF) とした。

各筋の身体表面はアルコールを用いて皮膚処理を行い、LT、LD、PM、AD、BB、TB、GMax、BFにはデータロガー兼乾式電極（DL-510、S&ME社製）を、左右EO、左右IO、左右LES、RFには湿式電極（Blue Sensor N 00 S、メッツ社製）を貼付した。表面電極は各筋の筋線維方向と平行になるように貼付した。また、高速な動作における筋活動を計測する際にデータロガーがはがれることをおさえるため、データロガーの上からキネシオロジーテープを貼り計測を行った。

各筋の貼付位置は下記の通りとした^{21,22)}。

- ・ LT： Th8と三角結節を結んだ線のTh8から遠位1/3
- ・ LD： 後腋窩3横指下方
- ・ PM： 上腕骨大結節稜と胸骨中央を結んだ線の中点
- ・ AD： 肩峰前縁3横指下方
- ・ BB： 上腕長の1/2かつ最大膨隆部
- ・ TB： 後腋窩から肘頭を結んだ線の後腋窩から4横指遠位
- ・ EO： 臍から15cm外側
- ・ IO： 上前腸骨棘から2cm内下方
- ・ ES： 第3腰椎棘突起の3cm外側
- ・ GMax： 仙骨中央と大転子を結んだ線の中点
- ・ BF： 坐骨結節と脛骨外側顆を結んだ線の中点
- ・ RF： 上前腸骨棘と膝蓋骨上端を結んだ線の中点

2-5-2) 最大等尺性随意収縮

投球動作時の筋活動量を正規化するために、徒手抵抗による最大等尺性随意収縮（MVIC: Maximum Voluntary Isometric Contraction）時の各筋の筋活動を5秒間計測した。MVICにおける対象者の肢位と徒手抵抗の方向は下記の通りとした。

- ・ LT： 対象者は腹臥位にて、肩関節外転150度、肘最大伸展位、肩甲骨内転位を保持し、検査者は上腕に対して肩関節伸展方向へ力を加えた。
- ・ LD： 対象者は腹臥位にて、肩関節軽度外転および軽度伸展位を保持し、検査者は肩関節外転および屈曲方向に力を加えた。
- ・ PM： 対象者は背臥位にて、肩関節水平内転90度、肘関節屈曲90度位を保持し、検査者は上腕へ肩関節水平伸展方向に力を加えた。
- ・ AD： 対象者は椅子座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度位を保持し、検査者は肩関節伸展方向に力を加えた。
- ・ BB： 対象者は椅子座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度位を保持し、検査者は肘関節伸展方向に力を加えた。
- ・ TB： 対象者は腹臥位にて、肩関節軽度外転および軽度伸展、肘関節軽度屈曲位を保持し、検査者は肘関節屈曲方向に力を加えた。

- ・ EO : 対象者は膝 90 度・股関節 45 度屈曲位の仰臥位にて、上肢を胸部の前で組んだ状態で、貼付した電極の反対側への体幹回旋と屈曲位を保持し、検査者は貼付した電極の同側方向の体幹回旋と体幹伸展方向に力を加えた。この時、別の検査者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにした。
- ・ IO : 対象者は EO の MVIC と同じ状態で、貼付した電極の同側への体幹回旋と屈曲位を保持し、検査者は貼付した電極の反対側方向の体幹回旋と体幹伸展方向に力を加えた。この時、別の検査者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにした。
- ・ ES : 対象者は腹臥位にて、両手を後頭部で組み、脊柱最大伸展位を保持し、検査者は体幹部屈曲方向へ力を加えた。この時、別の検査者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにした。
- ・ GMax : 対象者は腹臥位にて膝関節屈曲 90 度、股関節軽度伸展位を保持し、検査者は大腿遠位端へ股関節屈曲方向に力を加えた。
- ・ BF : 対象者は腹臥位にて、膝関節 45 度屈曲位を保持し、検査者は膝関節伸展方向に力を加えた。

- ・ RF：対象者は椅子座位にて、膝関節屈曲 90 度、股関節屈曲 90 度位を保持し、検査者は膝関節屈曲方向に力を加えた。

2-6. データ解析

2-6-1) 期分け

10 球の投球において、球速の速かった 3 試技を解析対象とし、その平均値を各対象者の代表値とした。左投げの対象者は左右を入れ替えた値を算出した。

投球動作は動作開始から動作終了までを、ウィンドアップ期、アーリーコッキング期、レイトコッキング期、加速期、減速期、フォロースルー期に分けた¹⁰⁾ (図 4)。

ウィンドアップ期は動作開始から膝最大挙上位 (Maximum Knee Elevation: MKE) までとし、動作開始はハイスピードカメラの映像により足部が離地したタイミング、MKE は非投球側脛骨粗面マーカーの高さを示す Z 座標の値が最大になるタイミングとした。アーリーコッキング期は MKE から足部接地 (Foot Contact: FC) までとし、FC は同期したハイスピードカメラの映像より、足底の一部が接地した瞬間を特定した。レイトコッキング期は、FC から肩関節が最大外旋 (Maximum External Rotation: MER) するまでとした。加速期は、MER からボールリリース (BR) までとし、BR はハイスピードカメラの映像より、指先からボールが離れたタイミングを特定した。減速期は BR から肩関節が最大内旋 (Maximum Internal Rotation: MIR)

するまでとした。フォロースルー期は、MIR から動作終了までとし、動作終了はハイスピードカメラの映像より、MIR 以降に投球側の手部が後方から前方に移動し始めるタイミングとした。高速な投球動作において、解析区間の開始と終了を客観的な基準にするため、MKE から MIR までを解析区間とした²³⁾。



図 4 期分け

2-6-2) 角度の算出

角度の算出は Matlab (Matlab R2021a、 MathWorks 社製) を用いて行った。全 36 個の座標データを第 4 次 Butterworth 型のローパスフィルター (カットオフ値 = 13.4Hz) にて平滑化を行い²⁴⁾、投球側の肩関節、投球側の肘関節、体幹、骨盤、非投球側の股関節、非投球側の膝関節における角度の算出を行った。以下は角度算出の手順である。

各関節角度は近位の座標系に対する遠位の座標系の相対位置を肩関節は Y 軸、X 軸、Z 軸の順で、肘関節、体幹、骨盤、股関節、膝関節は X 軸、Y 軸、Z 軸の順で回転させ、カルダン角で算出した。肩

関節の角度は胸部座標系に対する上腕骨座標系、肘関節の角度は上腕骨座標系に対する前腕部座標系の角度、体幹の角度は骨盤座標系に対する胸部座標系の角度、骨盤の角度はグローバル座標系に対する骨盤座標系の角度、股関節の角度は骨盤座標系に対する大腿骨座標系の角度、膝関節の角度は大腿骨座標系に対する下腿部座標系の角度とした。肩関節における Y 軸回転は肩関節の内転/外転、X 軸回転は肩関節の水平内転/水平外転、Z 軸回転は肩関節の内旋/外旋を示す。肘関節における X 軸回転は肘関節の屈曲/伸展、Y 軸回転は肘関節の内反/外反、Z 軸回転は前腕の回内/回外を示す。体幹における X 軸回転は体幹の屈曲/伸展、Y 軸回転は体幹の側屈、Z 軸回転は体幹の回旋を示す。骨盤における X 軸回転は骨盤の前傾/後傾、Y 軸回転は骨盤の側方傾斜、Z 軸回転は骨盤の回旋を示す。股関節における X 軸回転は股関節の屈曲/伸展、Y 軸回転は股関節の内転/外転、Z 軸回転は股関節の内旋/外旋を示す。膝関節における X 軸回転は膝関節の屈曲/伸展、Y 軸回転は膝関節の内反/外反、Z 軸回転は膝関節の内旋/外旋を示す。

算出した投球動作時の各関節の挙動を、肩関節 90 度外転位での静止立位姿勢（図 3）のアライメントで減じることによって標準化を行い、MKE、FC、MER、BR、MIR 時の各角度を算出した。骨盤の回旋角度のみ標準化を行わず、投球方向に正対した状態を 0 度とした。

2-6-3) 筋活動量の算出

筋活動量の算出には生体情報解析ソフト（BIMUTAS-Video、KISSEI COMTEC 社製）を使用した。モーションアーチファクトの影響を取り除くため、20-450Hz のバンドパスフィルター処理を行った。MVIC 時の Root Mean Square (RMS) 値は、MVIC 時の筋活動の振幅が最大となる 1 秒間を特定し算出した。投球動作中の各筋の筋活動量は MVIC 時の RMS 値で除し、正規化した。正規化した値より各期の RMS 値を算出した (%MVIC)。

2- 7. 統計処理

統計処理には SPSS Statistics 27.0 (IBM 社製) を使用した。10 球の投球における球速の平均値上位 7 名を「F 群」(平均球速：79.5±2.8km/h、平均年齢：21±2 歳、平均身長：158.4±4.5cm、平均体重：54.0±6.4kg、平均野球歴：10±2 年)、下位 7 名を「S 群」(平均球速：74.0±2.9km/h、平均年齢：21±1 歳、平均身長：158.6±4.6cm、平均体重：50.0±7.3kg、平均野球歴：8±4 年) とし、下記の条件間で球速・年齢・身長・体重・野球歴、各タイミングにおける各部位の関節角度を対応のない t 検定で比較した。

- ① 女子 (n=14) と男子 (n=17)
- ② F 群 (n=7) と S 群 (n=7)

男女で被験筋に違いがあったため、各期における各筋の筋活動量は②の条件においてのみ、対応のない t 検定を用いて比較した。有意水準は 5%とした。

また、検定の効果量として Cohen の d 値を算出し、0.20 以上 0.50 未満を「効果量小」、0.50 以上 0.80 未満を「効果量中」、0.80 以上を「効果量大」とした²⁵⁾。

第 3 節 結果

3-1. 対象者特性

各群の対象者特性を表 1 および表 2 に示す。身長・体重・野球歴・球速は、女子 ($158.5 \pm 4.4\text{cm}$ ・ $52.6 \pm 6.8\text{kg}$ ・ 6 ± 3 年・ $76.8 \pm 3.9\text{km/h}$) が男子 ($171.9 \pm 4.9\text{cm}$ ・ $68.7 \pm 7.5\text{kg}$ ・ 13 ± 1 年・ $111.7 \pm 5.6\text{km/h}$) に比べて有意に小さい値を示した ($p < 0.001$ ・ 0.001 ・ 0.001 ・ 0.001) (表 1)。女子の野球歴および球速は F 群 (9 ± 2 年・ $79.5 \pm 2.8\text{km/h}$) が S 群 (4 ± 2 年・ $74.0 \pm 2.9\text{km/h}$) に比べて有意に大きい値を示した ($p = 0.005$ ・ 0.003) (表 2)。

表 1 男女別対象者特性 (Mean \pm SD)

	女子 (n=14)	男子 (n=17)	p値 (*:p<0.05)
身長 (cm)	158.5 ± 4.4	171.9 ± 4.9	*<0.001
体重 (kg)	52.6 ± 6.8	68.7 ± 7.5	*<0.001
年齢 (歳)	21 ± 2	20 ± 1	0.115
野球歴 (年)	6 ± 3	13 ± 1	*<0.001
球速 (km/h)	76.8 ± 3.9	111.7 ± 5.6	*<0.001

表 2 女子における球速別対象者特性 (Mean±SD)

	F群 (n=7)	S群 (n=7)	p値 (*:p<0.05)
身長 (cm)	158.4±4.5	158.6±4.6	0.940
体重 (kg)	54.3±6.4	50.9±7.3	0.368
年齢 (歳)	21±3	21±0	0.513
野球歴 (年)	9±2	4±2	0.005*
球速 (km/h)	79.5±2.8	74.0±2.9	0.003*

3-2. 肩関節 90 度外転位静止立位姿勢

肩関節 90 度外転位静止立位姿勢時の各関節角度を表 3 および表 4 に示す。肩関節外旋角度・股関節屈曲角度・膝関節外反角度・骨盤前傾角度・骨盤左傾斜角度は女子 ($29.3 \pm 11.1^\circ$ ・ $-2.2 \pm 4.8^\circ$ ・ $-20.8 \pm 5.5^\circ$ ・ $-0.1 \pm 3.9^\circ$ ・ $-4.7 \pm 5.5^\circ$) が男子 ($39.1 \pm 12.9^\circ$ ・ $10.3 \pm 5.2^\circ$ ・ $-16.6 \pm 5.8^\circ$ ・ $15.4 \pm 5.7^\circ$ ・ $0.4 \pm 2.5^\circ$) に比べて有意に小さい値を示し ($p=0.032$ ・ <0.001 ・ $=0.044$ ・ <0.001 ・ 0.002)、体幹屈曲角度・体幹左側屈角度は女子 ($-8.4 \pm 8.9^\circ$ ・ $0.4 \pm 1.9^\circ$) が男子 ($-18.9 \pm 6.3^\circ$ ・ $-1.2 \pm 2.4^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した ($p=0.001$ ・ 0.044) (表 3)。女子において、F 群と S 群の静止立位姿勢時の各関節角度に有意な差を認めなかった (表 4)。

表 3 男女別立位姿勢アライメント (Mean±SD)

関節角度 (度)	女子 (n=14)	男子 (n=17)	p値 (*:p<0.05)
肘関節 + 屈曲/- 伸展	12.7±9.7	19.0±11.9	0.121
肩関節 + 外転/- 内転	85.0±9.0	83.5±8.6	0.638
肩関節 + 水平外転/- 水平内転	-1.5±5.8	-1.8±5.0	0.906
肩関節 + 外旋/- 内旋	29.3±11.1	39.1±12.9	*0.032
股関節 + 屈曲/- 伸展	-2.2±4.8	10.3±5.2	*<0.001
膝関節 + 屈曲/- 伸展	3.9±6.0	6.5±5.2	0.200
膝関節 + 外反/- 内反	-20.8±5.5	-16.6±5.8	*0.044
体幹 + 屈曲/- 伸展	-8.4±8.9	-18.9±6.3	*0.001
体幹 + 左側屈/- 右側屈	0.4±1.9	-1.2±2.4	*0.044
体幹 + 左回旋/- 右回旋	0.5±4.4	-0.6±3.7	0.458
骨盤 + 前傾/- 後傾	-0.1±3.9	15.4±5.7	*<0.001
骨盤 + 左傾斜/- 右傾斜	-4.7±5.5	0.4±2.5	*0.002

表 4 女子における球速別立位姿勢アライメント (Mean±SD)

関節角度 (度)	F群 (n=7)	S群 (n=7)	p値 (*:p<0.05)
肘関節 + 屈曲/- 伸展	12.2±10.4	13.2±9.9	0.864
肩関節 + 外転/- 内転	83.5±11.3	86.5±6.7	0.550
肩関節 + 水平外転/- 水平内転	-0.2±3.0	-2.9±7.7	0.410
肩関節 + 外旋/- 内旋	30.6±10.5	28.1±12.3	0.689
股関節 + 屈曲/- 伸展	-3.0±5.3	-1.3±4.4	0.519
膝関節 + 屈曲/- 伸展	5.0±7.6	2.7±4.1	0.493
膝関節 + 外反/- 内反	-20.5±3.6	-21.2±7.2	0.812
体幹 + 屈曲/- 伸展	-9.1±10.5	-7.7±7.8	0.772
体幹 + 左側屈/- 右側屈	0.1±2.3	0.8±1.5	0.511
体幹 + 左回旋/- 右回旋	0.9±3.9	0.1±5.1	0.759
骨盤 + 前傾/- 後傾	-1.6±4.2	1.5±3.2	0.140
骨盤 + 左傾斜/- 右傾斜	-5.9±6.5	-3.5±4.5	0.450

3-3. 投球時の各関節角度

3-3-1) 各タイミングにおける各関節標準化角度の男女比較

各タイミングにおける、男女の上肢と下肢の標準化した各関節角度を表5に示す。

肘関節屈曲角度は、MKEにおいて女子 ($79.8 \pm 45.0^\circ$) は男子 ($94.4 \pm 19.0^\circ$) に比べて有意に小さい値を示し ($p=0.038$ 、 $d=0.439$)、MER・MIRにおいて女子 ($88.9 \pm 16.9^\circ$ ・ $31.2 \pm 18.9^\circ$) は男子 ($77.3 \pm 13.1^\circ$ ・ $22.7 \pm 14.3^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.038$ 、 $d=0.439$ FC: $p=0.051$ 、 $d=0.413$ MER: $p<0.001$ 、 $d=0.777$ BR: $p=0.08$ $d=0.369$ MIR: $p=0.013$ 、 $d=0.544$)。

肩関節外転角度は、MKE・BRにおいて女子 ($-50.4 \pm 20.1^\circ$ ・ $23.9 \pm 11.6^\circ$) は男子 ($-35.0 \pm 28.7^\circ$ ・ $28.4 \pm 7.8^\circ$) に比べて有意に小さい値を示し、FCにおいて女子 ($8.6 \pm 17.5^\circ$) は男子 ($-5.8 \pm 19.6^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.004$ 、 $d=0.611$ FC: $p<0.001$ 、 $d=0.771$ MER: $p=0.059$ 、 $d=0.391$ BR: $p=0.039$ 、 $d=0.456$ MIR: $p=0.448$ 、 $d=0.155$)。

肩関節水平外転角度は、MKEにおいて女子 ($-34.0 \pm 22.1^\circ$) は男子 ($-49.4 \pm 14.7^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p<0.001$ 、 $d=0.839$ FC: $p=0.08$ 、 $d=0.384$ MER: $p=0.572$ 、 $d=0.118$ BR: $p=0.066$ 、 $d=0.388$ MIR: $p=0.461$ 、 $d=0.153$)。

肩関節外旋角度は、MERにおいて女子 ($113.4 \pm 11.2^\circ$) は男子 ($120.4 \pm 14.7^\circ$) に比べて有意に小さい値を示した (MKE: $p=0.301$ 、 $d=0.217$ FC: $p=0.091$ 、 $d=0.354$ MER: $p=0.011$ 、 $d=0.528$ BR: $p=0.104$ 、 $d=0.352$ MIR: $p=0.892$ 、 $d=0.028$)。

股関節屈曲角度は、MKE・BR・MIRにおいて女子（ $80.3 \pm 17.6^\circ$ ・ $80.9 \pm 10.9^\circ$ ・ $78.0 \pm 17.4^\circ$ ）は男子（ $73.9 \pm 6.9^\circ$ ・ $73.0 \pm 9.4^\circ$ ・ $66.9 \pm 11.2^\circ$ ）に比べて有意に大きい値を示し、FCにおいて女子（ $36.5 \pm 26.2^\circ$ ）は男子（ $52.6 \pm 13.9^\circ$ ）に比べて有意に小さい値を示した（MKE： $p=0.021$ 、 $d=0.49$ FC： $p<0.001$ 、 $d=0.788$ MER： $p=0.219$ 、 $d=0.264$ BR： $p<0.001$ 、 $d=0.78$ MIR： $p<0.001$ 、 $d=0.759$ ）。

膝関節屈曲角度は、MER・BR・MIRにおいて女子（ $65.1 \pm 13.7^\circ$ ・ $58.7 \pm 14.5^\circ$ ・ $37.0 \pm 14.1^\circ$ ）は男子（ $54.0 \pm 9.4^\circ$ ・ $43.3 \pm 12.3^\circ$ ・ $26.6 \pm 14.9^\circ$ ）に比べて有意に大きい値を示した（MKE： $p=0.068$ 、 $d=0.389$ FC： $p=0.383$ 、 $d=0.183$ MER： $p<0.001$ 、 $d=0.967$ BR： $p<0.001$ 、 $d=1.156$ MIR： $p=0.002$ 、 $d=0.652$ ）。

膝関節外反角度は、MKE・MER・BRにおいて女子（ $1.3 \pm 6.4^\circ$ ・ $10.2 \pm 5.7^\circ$ ・ $10.3 \pm 6.6^\circ$ ）は男子（ $-4.5 \pm 7.6^\circ$ ・ $4.6 \pm 4.0^\circ$ ・ $4.3 \pm 4.3^\circ$ ）に比べて有意に大きい値を示した（MKE： $p<0.001$ 、 $d=0.811$ FC： $p=0.050$ 、 $d=0.420$ MER： $p<0.001$ 、 $d=1.148$ BR： $p<0.001$ 、 $d=1.103$ MIR： $p=0.060$ 、 $d=0.406$ ）。

表 5 各タイミングにおける上・下肢関節角度の男女比較 (Mean ± SD)

関節角度 (度)	女子 (n=14)	男子 (n=17)	p値 (*:p<0.05)	効果量 (Cohen's d)
肘関節 + 屈曲/- 伸展				
MKE	79.8±45.0	94.4±19.0	0.038*	0.439
FC	105.4±22.6	94.8±27.8	0.051	0.413
MER	88.9±16.9	77.3±13.1	<0.001*	0.777
BR	7.7±15.1	12.2±9.2	0.080	0.369
MIR	31.2±18.9	22.7±14.3	0.013*	0.544
肩関節 + 外転/- 内転				
MKE	-50.4±20.1	-35.0±28.7	0.004*	0.611
FC	8.6±17.5	-5.8±19.6	<0.001*	0.771
MER	-1.4±14.7	5.0±17.9	0.059	0.391
BR	23.9±11.6	28.4±7.8	0.039*	0.456
MIR	-107.1±16.7	-107.3±20.6	0.448	0.155
肩関節 + 水平外転/- 水平内転				
MKE	-34.0±22.1	-49.4±14.7	<0.001*	0.839
FC	34.5±16.6	39.8±11.1	0.080	0.384
MER	-7.0±9.9	-8.2±9.9	0.572	0.118
BR	-23.0±12.3	-19.0±8.5	0.066	0.388
MIR	-35.6±20.1	-39.1±22.7	0.461	0.153
肩関節 + 外旋/- 内旋				
MKE	-50.0±26.1	-42.8±37.7	0.301	0.217
FC	3.5±34.2	16.0±36.5	0.091	0.354
MER	113.4±11.2	120.4±14.7	0.011*	0.528
BR	-55.9±20.8	-49.5±15.5	0.104	0.352
MIR	-126.0±29.0	-127.9±18.5	0.892	0.028
股関節 + 屈曲/- 伸展				
MKE	80.3±17.6	73.9±6.9	0.021*	0.490
FC	36.5±26.2	52.6±13.9	<0.001*	0.788
MER	82.0±9.6	79.7±7.9	0.219	0.264
BR	80.9±10.9	73.0±9.4	<0.001*	0.780
MIR	78.0±17.4	66.9±11.2	<0.001*	0.759
膝関節 + 屈曲/- 伸展				
MKE	94.2±28.2	104.6±25.5	0.068	0.389
FC	56.0±14.7	53.6±11.9	0.383	0.183
MER	65.1±13.7	54.0±9.4	<0.001*	0.967
BR	58.7±14.5	43.3±12.3	<0.001*	1.156
MIR	37.0±14.1	26.6±14.9	0.002*	0.652
膝関節 + 外反/- 内反				
MKE	1.3±6.4	-4.5±7.6	<0.001*	0.811
FC	7.4±6.7	4.8±6.0	0.050	0.420
MER	10.2±5.7	4.6±4.0	<0.001*	1.148
BR	10.3±6.6	4.3±4.3	<0.001*	1.103
MIR	7.0±4.9	5.2±3.9	0.060	0.406

各タイミングにおける、男女の体幹と骨盤の標準化した角度を表 6 に示す。

体幹屈曲角度は、MER・BR・MIRにおいて女子 ($-6.8 \pm 9.2^\circ$ ・ $13.7 \pm 12.5^\circ$ ・ $15.8 \pm 15.2^\circ$) は男子 ($-0.6 \pm 10.8^\circ$ ・ $23.4 \pm 10.3^\circ$ ・ $22.8 \pm 9.8^\circ$) に比べて有意に小さい値を示した (MKE: $p=0.671$ 、 $d=0.089$ FC: $p=0.514$ 、 $d=0.137$ MER: $p=0.004$ 、 $d=0.611$ BR: $p<0.001$ 、 $d=0.859$ MIR: $p=0.008$ 、 $d=0.563$)。

体幹左側屈角度は、FC・MERにおいて女子 ($-7.2 \pm 4.9^\circ$ ・ $17.9 \pm 10.3^\circ$) は男子 ($-2.0 \pm 6.8^\circ$ ・ $27.0 \pm 11.1^\circ$) に比べて有意に小さい値を示した (MKE: $p=0.227$ 、 $d=0.246$ FC: $p<0.001$ 、 $d=0.869$ MER: $p<0.001$ 、 $d=0.847$ BR: $p=0.376$ 、 $d=0.182$ MIR: $p=0.198$ 、 $d=0.267$)。

体幹左回旋角度は、FC・MER・BRにおいて女子 ($-21.4 \pm 9.2^\circ$ ・ $12.8 \pm 8.5^\circ$ ・ $14.0 \pm 10.0^\circ$) は男子 ($-27.9 \pm 6.6^\circ$ ・ $8.6 \pm 5.7^\circ$ ・ $10.1 \pm 7.7^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.139$ 、 $d=0.311$ FC: $p<0.001$ 、 $d=0.823$ MER: $p=0.008$ 、 $d=0.594$ BR: $p=0.040$ 、 $d=0.447$ MIR: $p=0.706$ 、 $d=0.08$)。

骨盤前傾角度は、MKE・FC・MER・BR・MIRにおいて女子 ($19.3 \pm 21.4^\circ$ ・ $-0.7 \pm 9.5^\circ$ ・ $0.5 \pm 6.7^\circ$ ・ $0.9 \pm 7.9^\circ$ ・ $22.7 \pm 21.7^\circ$) は男子 ($-4.4 \pm 13.4^\circ$ ・ $-21.6 \pm 11.1^\circ$ ・ $-19.0 \pm 9.6^\circ$ ・ $-15.7 \pm 10.1^\circ$ ・ $4.5 \pm 24.4^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p<0.001$ 、 $d=1.36$ FC: $p<0.001$ 、 $d=2.006$ MER: $p<0.001$ 、 $d=2.308$ BR: $p<0.001$ 、 $d=1.803$ MIR: $p<0.001$ 、 $d=0.813$)。

骨盤左傾斜角度は、FC・MERにおいて女子 ($4.8 \pm 7.2^\circ$ ・ $-13.8 \pm 12.5^\circ$) は男子 ($-5.3 \pm 8.0^\circ$ ・ $-24.2 \pm 21.7^\circ$) に比べて有意に大

きい値を示した (MKE : $p=0.353$ 、 $d=0.195$ FC : $p= <0.001$ 、
 $d=1.318$ MER : $p= 0.005$ 、 $d=0.572$ BR : $p=0.12$ 、 $d=0.315$
MIR : $p=0.395$ 、 $d=0.176$)。

骨盤左回旋角度は、MKEにおいて女子 ($-129.2 \pm 14.1^\circ$) は男子
($-117.5 \pm 15.4^\circ$) に比べて有意に小さい値を示した (MKE :
 $p < 0.001$ 、 $d=0.793$ FC : $p=0.656$ 、 $d=0.095$ MER : $p=0.121$ 、
 $d=0.336$ BR : $p=0.135$ 、 $d=0.324$ MIR : $p=0.422$ 、 $d=0.168$)。

表 6 各タイミングにおける体幹・骨盤角度の男女比較 (Mean ± SD)

関節角度 (度)		女子 (n=14)	男子 (n=17)	p値 (*:p<0.05)	効果量 (Cohen's d)
体幹	+ 屈曲/- 伸展				
	MKE	30.4±15.1	31.5±11.1	0.671	0.089
	FC	5.3±13.8	7.2±13.9	0.514	0.137
	MER	-6.8±9.2	-0.6±10.8	0.004*	0.611
	BR	13.7±12.5	23.4±10.3	<0.001*	0.859
	MIR	15.8±15.2	22.8±9.8	0.008*	0.563
体幹	+ 左側屈/- 右側屈				
	MKE	14.8±7.4	12.6±9.9	0.227	0.246
	FC	-7.2±4.9	-2.0±6.8	<0.001*	0.869
	MER	17.9±10.3	27.0±11.1	<0.001*	0.847
	BR	28.2±10.0	30.2±12.1	0.376	0.182
	MIR	20.0±11.6	16.2±13.3	0.198	0.267
体幹	+ 左回旋/- 右回旋				
	MKE	12.9±6.0	10.6±8.7	0.139	0.311
	FC	-21.4±9.2	-27.9±6.6	<0.001*	0.823
	MER	12.8±8.5	8.6±5.7	0.008*	0.594
	BR	14.0±10.0	10.1±7.7	0.040*	0.447
	MIR	30.0±8.7	29.8±7.9	0.706	0.080
骨盤	+ 前傾/- 後傾				
	MKE	19.3±21.4	-4.4±13.4	<0.001*	1.360
	FC	-0.7±9.5	-21.6±11.1	<0.001*	2.006
	MER	0.5±6.7	-19.0±9.6	<0.001*	2.308
	BR	0.9±7.9	-15.7±10.1	<0.001*	1.803
	MIR	22.7±21.7	4.5±24.4	<0.001*	0.813
骨盤	+ 左傾斜/- 右傾斜				
	MKE	6.1±7.5	7.9±10.2	0.353	0.195
	FC	4.8±7.2	-5.3±8.0	<0.001*	1.318
	MER	-13.8±12.5	-24.2±21.7	0.005*	0.572
	BR	-18.6±15.7	-25.0±23.3	0.120	0.315
	MIR	-24.1±23.4	-29.7±26.1	0.395	0.176
骨盤	+ 左回旋/- 右回旋 (ホームプレートに正対が0度)				
	MKE	-129.2±14.1	-117.5±15.4	<0.001*	0.793
	FC	-67.1±35.3	-64.0±31.1	0.656	0.095
	MER	1.4±12.5	-2.3±9.5	0.121	0.336
	BR	13.5±10.8	10.5±7.8	0.135	0.324
	MIR	40.6±13.4	44.2±16.0	0.422	0.168

3-3-2) 球速の違いによる各タイミングにおける各関節標準化角度の比較

各タイミングにおける、F群とS群の上肢と下肢の標準化した各関節角度を表7に示す。

肩関節外転角度は、BRにおいてF群 ($28.5 \pm 12.9^\circ$) はS群 ($19.4 \pm 8.2^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.643$ 、 $d=0.144$ FC: $p=0.481$ 、 $d=0.220$ MER: $p=0.112$ 、 $d=0.502$ BR: $p=0.010$ 、 $d=0.839$ MIR: $p=0.879$ 、 $d=0.047$)。

肩関節水平外転角度は、FCにおいてF群 ($39.9 \pm 14.0^\circ$) はS群 ($29.1 \pm 17.5^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.376$ 、 $d=0.276$ FC: $p=0.034$ 、 $d=0.678$ MER: $p=0.684$ 、 $d=0.126$ BR: $p=0.732$ 、 $d=0.106$ MIR: $p=0.712$ 、 $d=0.115$)。

膝関節屈曲角度は、MIRにおいて、F群 ($42.5 \pm 13.3^\circ$) はS群 ($29.6 \pm 12.1^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.25$ 、 $d=0.360$ FC: $p=0.379$ 、 $d=0.275$ MER: $p=0.368$ 、 $d=0.282$ BR: $p=0.995$ 、 $d=0.002$ MIR: $p=0.002$ 、 $d=1.015$)。

膝関節外反角度は、MIRにおいて、F群 ($9.0 \pm 4.7^\circ$) はS群 ($4.9 \pm 4.3^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE: $p=0.156$ 、 $d=0.447$ FC: $p=0.320$ 、 $d=0.311$ MER: $p=0.256$ 、 $d=0.355$ BR: $p=0.084$ 、 $d=0.547$ MIR: $p=0.005$ 、 $d=0.923$)。

肘関節屈曲角度、肩関節外旋角度、股関節屈曲角度はいずれのタイミングにおいてもF群とS群に有意な差を認めなかった (MKE: $p=0.101$ 、 $d=0.517$ FC: $p=0.607$ 、 $d=0.160$ MER: $p=0.100$ 、 $d=0.520$ BR: $p=0.407$ 、 $d=0.259$ MIR: $p=0.109$ 、 $d=0.509$)、

(MKE : $p=0.421$ 、 $d=0.251$ FC : $p=0.275$ 、 $d=0.342$ MER :
 $p=0.136$ 、 $d=0.470$ BR : $p=0.205$ 、 $d=0.398$ MIR : $p=0.415$ 、
 $d=0.254$) (MKE : $p=0.504$ 、 $d=0.208$ FC : $p=0.679$ 、 $d=0.129$
MER : $p=0.258$ 、 $d=0.354$ BR : $p=0.193$ 、 $d=0.409$ MIR :
 $p=0.058$ 、 $d=0.603$)。

表 7 F群とS群の各タイミングにおける上・下肢関節角度の比較

(Mean ± SD)

関節角度 (度)		F群 (n=7)	S群 (n=7)	p値 (*:p<0.05)	効果量 (Cohen's d)
肘関節	+ 屈曲/- 伸展				
	MKE	68.4±47.4	91.2±40.4	0.101	0.517
	FC	103.6±28.6	107.2±14.9	0.607	0.160
	MER	84.6±17.7	93.2±15.3	0.100	0.520
	BR	5.8±11.7	9.7±18.0	0.407	0.259
	MIR	27.0±12.4	36.5±23.1	0.109	0.509
肩関節	+ 外転/- 内転				
	MKE	-51.8±24.8	-48.9±14.3	0.643	0.144
	FC	10.5±13.9	6.6±20.7	0.481	0.220
	MER	2.2±14.5	-5.1±14.3	0.112	0.502
	BR	28.5±12.9	19.4±8.2	0.010*	0.839
	MIR	-110.7±14.4	-109.9±19.1	0.879	0.047
肩関節	+ 水平外転/- 水平内転				
	MKE	-37.0±21.7	-30.9±22.6	0.376	0.276
	FC	39.9±14.0	29.1±17.5	0.034*	0.678
	MER	-6.4±13.0	-7.6±5.8	0.684	0.126
	BR	-23.7±12.3	-22.4±12.6	0.732	0.106
	MIR	-36.9±22.5	-34.6±17.8	0.712	0.115
肩関節	+ 外旋/- 内旋				
	MKE	-53.3±21.9	-46.7±29.9	0.421	0.251
	FC	-2.4±31.7	9.3±36.0	0.275	0.342
	MER	116.0±6.3	110.8±14.3	0.136	0.470
	BR	-60.0±15.4	-51.8±24.9	0.205	0.398
	MIR	-132.3±27.1	-124.9±31.0	0.415	0.254
股関節	+ 屈曲/- 伸展				
	MKE	78.4±23.2	82.1±9.7	0.504	0.208
	FC	38.2±27.8	34.8±25.2	0.679	0.129
	MER	83.7±9.8	80.3±9.4	0.258	0.354
	BR	83.2±11.6	78.7±10.1	0.193	0.409
	MIR	82.8±17.0	72.7±16.7	0.058	0.603
膝関節	+ 屈曲/- 伸展				
	MKE	89.1±35.1	99.2±18.4	0.250	0.360
	FC	54.0±15.9	58.1±13.5	0.379	0.275
	MER	63.2±17.5	67.1±8.2	0.368	0.282
	BR	58.7±18.7	58.7±8.9	0.995	0.002
	MIR	42.5±13.3	29.6±12.1	0.002*	1.015
膝関節	+ 外反/- 内反				
	MKE	2.7±5.0	-0.1±7.3	0.156	0.447
	FC	8.5±6.0	6.4±7.4	0.320	0.311
	MER	11.2±5.9	9.2±5.5	0.256	0.355
	BR	12.0±5.9	8.5±6.9	0.084	0.547
	MIR	9.0±4.7	4.9±4.3	0.005*	0.923

各タイミングにおける、F群とS群の体幹と骨盤の標準化した角度を表8に示す。

体幹屈曲角度は、MER・BRにおいてF群 ($-3.5 \pm 6.3^\circ$ ・ $17.9 \pm 9.6^\circ$) はS群 ($-10.0 \pm 10.4^\circ$ ・ $9.5 \pm 13.7^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE : $p=0.605$ 、 $d=0.161$ FC : $p=0.735$ 、 $d=0.105$ MER : $p=0.018$ 、 $d=0.759$ BR : $p=0.026$ 、 $d=0.711$ MIR : $p=0.119$ 、 $d=0.492$)。

体幹左回旋角度は、FC・MER・BRにおいてF群 ($-26.4 \pm 9.5^\circ$ ・ $9.5 \pm 4.5^\circ$ ・ $10.7 \pm 8.0^\circ$) はS群 ($-16.4 \pm 5.7^\circ$ ・ $16.2 \pm 10.3^\circ$ ・ $17.3 \pm 10.9^\circ$) に比べて有意に小さい値を示した (MKE : $p=0.120$ 、 $d=0.491$ FC : $p<0.001$ 、 $d=1.278$ MER : $p=0.009$ 、 $d=0.845$ BR : $p=0.033$ 、 $d=0.684$ MIR : $p=0.747$ 、 $d=0.100$)。

骨盤左回旋角度は、MER・BRにおいて、F群 ($6.1 \pm 9.4^\circ$ ・ $17.6 \pm 10.0^\circ$) はS群 ($-3.3 \pm 13.6^\circ$ ・ $9.4 \pm 10.1^\circ$) に比べて有意に大きい値を示した (MKE : $p=0.399$ 、 $d=0.264$ FC : $p=0.926$ 、 $d=0.029$ MER : $p=0.013$ 、 $d=0.805$ BR : $p=0.011$ 、 $d=0.819$ MIR : $p=0.093$ 、 $d=0.532$)。

体幹左側屈角度、骨盤前傾角度、骨盤左傾斜角度は、いずれのタイミングにおいてもF群と群に有意な差を認めなかった (MKE : $p=0.295$ 、 $d=0.328$ FC : $p=0.416$ 、 $d=0.254$ MER : $p=0.812$ 、 $d=0.074$ BR : $p=0.582$ 、 $d=0.171$ MIR : $p=0.599$ 、 $d=0.164$)、(MKE : $p=0.115$ 、 $d=0.498$ FC : $p=0.251$ 、 $d=0.359$ MER : $p=0.457$ 、 $d=0.232$ BR : $p=0.544$ 、 $d=0.189$ MIR : $p=0.222$ 、 $d=0.383$)、(MKE : $p=0.243$ 、 $d=0.365$ FC : $p=0.903$ 、 $d=0.038$

MER : $p=0.198$ 、 $d=0.404$ BR : $p=0.185$ 、 $d=0.420$ MIR :
 $p=0.108$ 、 $d=0.508$)。

表 8 F 群と S 群の各タイミングにおける体幹・骨盤角度の比較

(Mean ± SD)

関節角度 (度)		F群 (n=7)	S群 (n=7)	p値 (*:p<0.05)	効果量 (Cohen's d)
体幹	+ 屈曲/- 伸展				
	MKE	31.6±14.5	29.1±15.9	0.605	0.161
	FC	6.0±14.6	4.6±13.4	0.735	0.105
	MER	-3.5±6.3	-10.0±10.4	0.018*	0.759
	BR	17.9±9.6	9.5±13.7	0.026*	0.711
MIR	19.5±11.4	12.1±17.7	0.119	0.492	
体幹	+ 左側屈/- 右側屈				
	MKE	13.5±5.3	16±9.1	0.295	0.328
	FC	-6.6±4.5	-7.8±5.4	0.416	0.254
	MER	18.3±9.5	17.5±11.3	0.812	0.074
	BR	27.3±9.3	29.0±10.8	0.582	0.171
MIR	20.5±7.4	18.6±14.7	0.599	0.164	
体幹	+ 左回旋/- 右回旋				
	MKE	11.5±5.5	14.4±6.3	0.120	0.491
	FC	-26.4±9.5	-16.4±5.7	<0.001*	1.278
	MER	9.5±4.5	16.2±10.3	0.009*	0.845
	BR	10.7±8.0	17.3±10.9	0.033*	0.684
MIR	30.0±9.7	30.9±7.8	0.747	0.100	
骨盤	+ 前傾/- 後傾				
	MKE	24.5±6.5	14.1±28.9	0.115	0.498
	FC	1.0±9.1	-2.4±9.8	0.251	0.359
	MER	1.3±4.6	-0.3±8.3	0.457	0.232
	BR	1.6±6.4	0.1±9.2	0.544	0.189
MIR	27.5±13.0	19.3±27.6	0.222	0.383	
骨盤	+ 左傾斜/- 右傾斜				
	MKE	7.5±9.3	4.8±5.0	0.243	0.365
	FC	4.7±7.9	5.0±6.6	0.903	0.038
	MER	-16.3±6.8	-11.3±16.2	0.198	0.404
	BR	-21.9±8.4	-15.3±20.4	0.185	0.420
MIR	-31.2±10.7	-19.5±30.6	0.108	0.508	
骨盤	+ 左回旋/- 右回旋 (ホームプレートに正対が0度)				
	MKE	-127.4±17.2	-131.1±10.2	0.399	0.264
	FC	-67.7±18.1	-66.4±47.2	0.926	0.029
	MER	6.1±9.4	-3.3±13.6	0.013*	0.805
	BR	17.6±10.0	9.4±10.1	0.011*	0.819
MIR	45.2±13.6	38.2±12.5	0.093	0.532	

3-4. 女子における投球時の筋活動

各期における各筋の活動を図に示す。

僧帽筋下部（LT）は、S群は加速期において最大の活動を示し、F群は減速期にかけて徐々に活動量が増加した（図5）。統計解析の結果、レイトコッキング期・加速期においてF群（ $30.3 \pm 16.1\%MVIC$ ・ $48.9 \pm 26.2\%MVIC$ ）はS群（ $62.4 \pm 58.0\%MVIC$ ・ $100.2 \pm 89.2\%MVIC$ ）に比べて有意に小さい活動を示した（ $p=0.391$ 、 0.022 、 0.018 、 0.207 $d=0.273$ 、 0.747 、 0.772 、 0.401 ）。

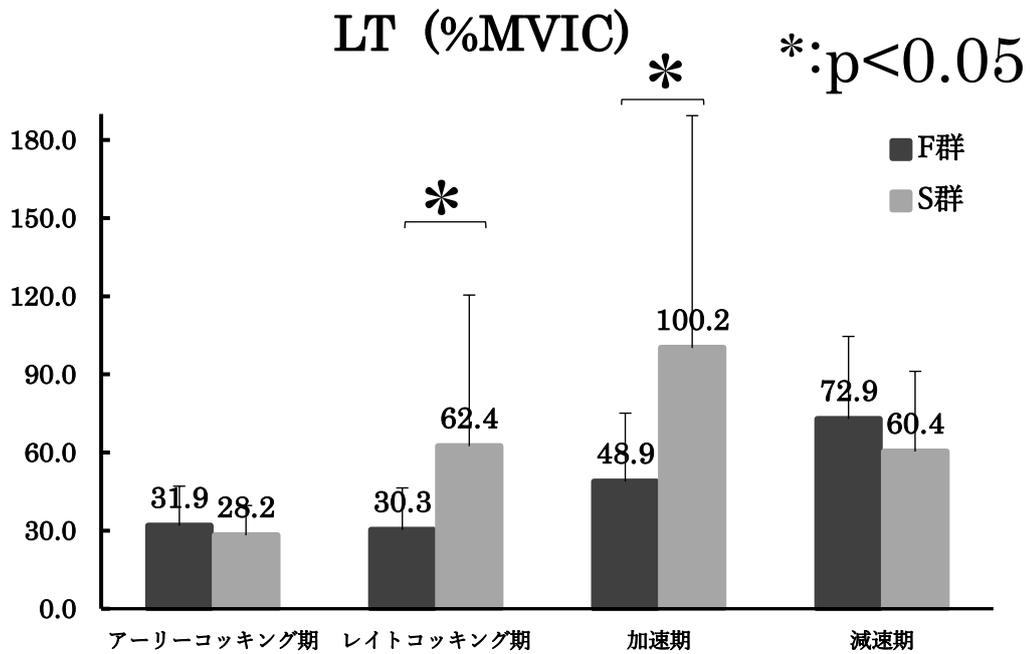


図5 S群とF群におけるLTの筋活動の比較（Mean ± SD）

広背筋（LD）は、両群ともに加速期において最大の活動を示し、アーリーコッキング期を除く全ての期において F 群は S 群に比べて大きい活動を示した（図 6）。統計解析の結果、アーリーコッキング期において F 群（ $11.4 \pm 6.3\%MVIC$ ）は S 群（ $7.0 \pm 4.6\%MVIC$ ）に比べて有意に大きい活動を示した（ $p=0.018$ 、 0.371 、 0.348 、 0.305 、 $d=0.786$ 、 0.286 、 0.301 、 0.329 ）。

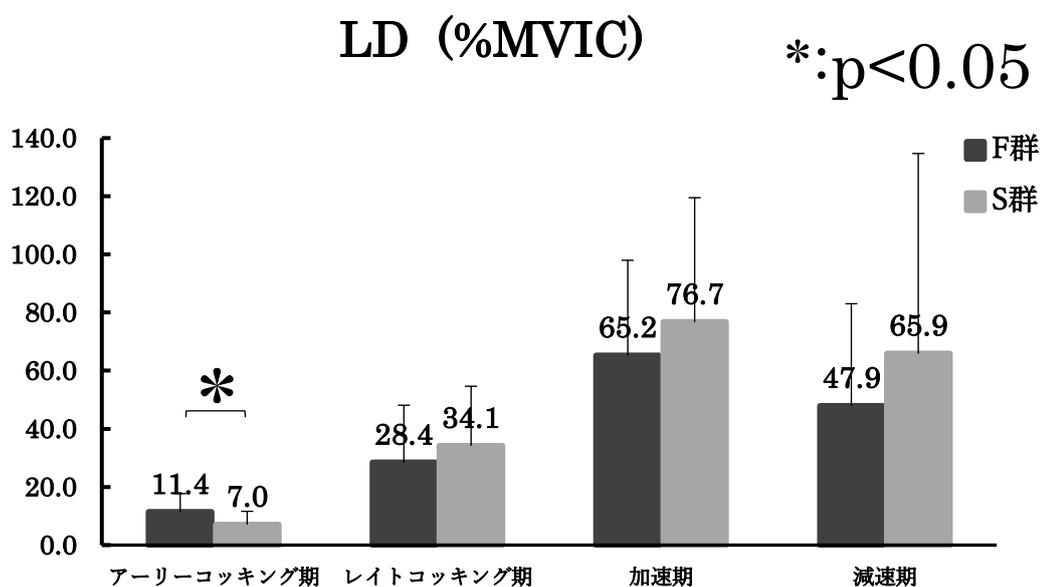


図 6 S 群と F 群における LD の筋活動の比較 (Mean ± SD)

大胸筋（PM）は、両群ともにレイトコッキング期において最大の活動を示した（図 7）。統計解析の結果、いずれの期においても F 群と S 群に有意な差を認めなかった（ $p=0.119$ 、 0.077 、 0.397 、 0.432 、 $d=0.517$ 、 0.653 、 0.293 、 0.284 ）。

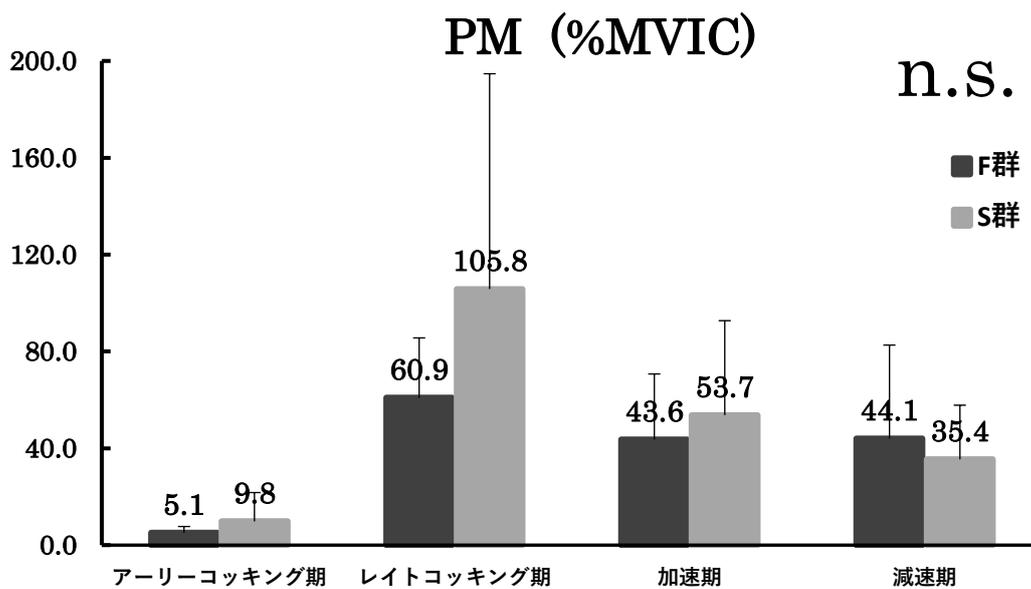


図 7 S 群と F 群における PM の筋活動の比較（Mean ± SD）

三角筋前部（AD）は、両群ともにレイトコッキング期において最大の活動を示した（図 8）。統計解析の結果、加速期において F 群（ $17.0 \pm 10.7\% \text{MVIC}$ ）は S 群（ $39.6 \pm 40.1\% \text{MVIC}$ ）に比べて有意に小さい活動を示した（ $p=0.683$ 、 0.407 、 0.020 、 0.273 $d=0.132$ 、 0.274 、 0.792 、 0.361 ）。

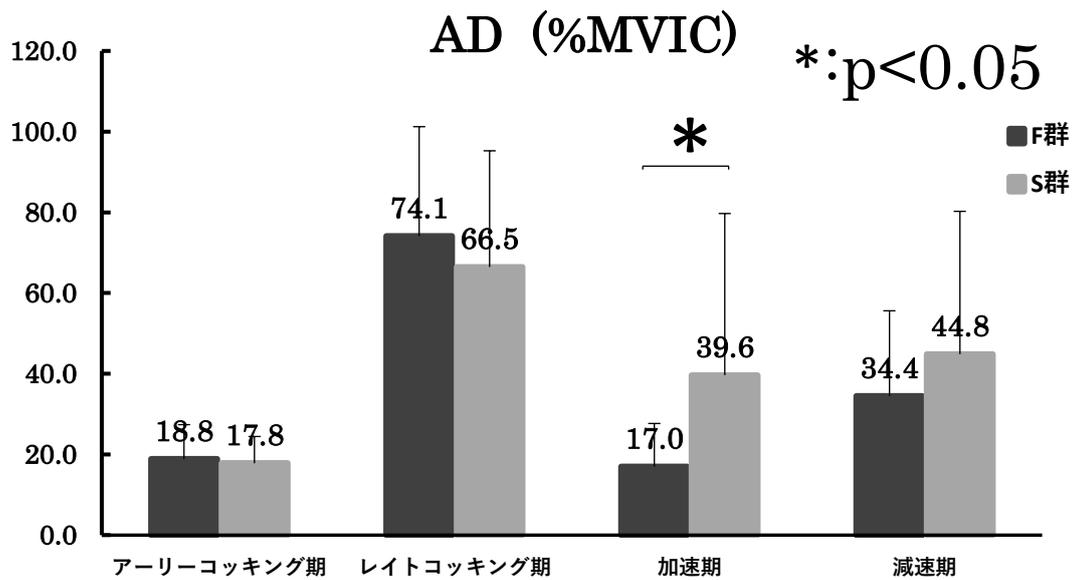


図 8 S 群と F 群における AD の筋活動の比較（Mean ± SD）

上腕二頭筋長頭（BB）は、F群はレイトコッキング期において最大の活動を示し、S群は減速期にかけて徐々に活動量が増加した（図9）。統計解析の結果、いずれの期においてもF群とS群に有意な差を認めなかった（ $p=0.646$ 、 0.436 、 0.547 、 0.134 $d=0.147$ 、 0.250 、 0.198 、 0.491 ）。

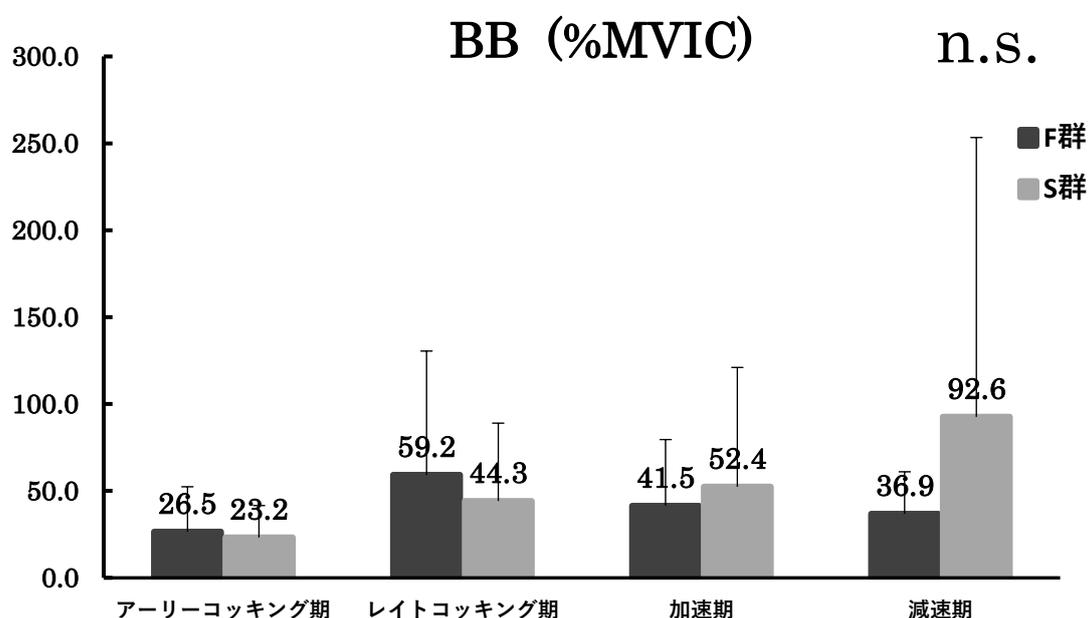


図9 S群とF群におけるBBの筋活動の比較（Mean ± SD）

上腕三頭筋長頭（TB）は、両群ともに減速期にかけて徐々に活動量が増加し、減速期において 100%MVIC を超える活動を示した（図 10）。統計解析の結果、全ての期において F 群（17.9±4.3%MVIC、80.0±74.4%MVIC、173.0±121.6%MVIC、286.9±144.8%MVIC）は S 群（9.0±4.7%MVIC、36.1±11.9%MVIC、56.6±23.0%MVIC、121.6±74.3%MVIC）に比べて有意に大きい活動を示した（ $p < 0.001$ 、0.056、0.004、0.002 $d = 2.000$ 、0.824、1.330、1.436）。

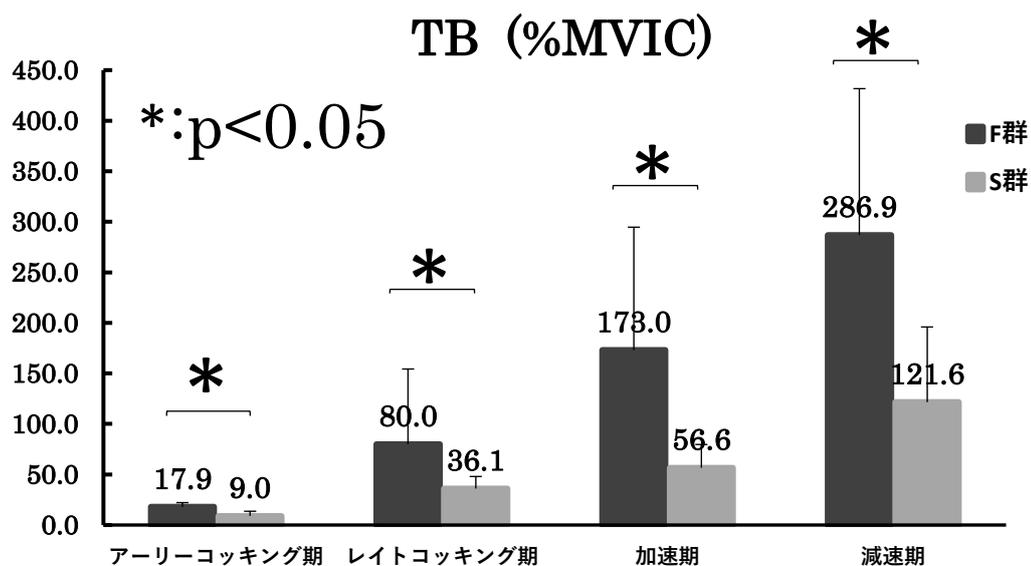


図 10 S 群と F 群における TB の筋活動の比較（Mean ± SD）

左外腹斜筋（EO Lt）は、両群ともにレイトコッキング期および加速期において 100%MVIC を超える活動を示した（図 11）。統計解析の結果、いずれの期においても F 群と S 群に有意な差を認めなかった（ $p=0.584$ 、 0.197 、 0.234 、 0.948 $d=0.173$ 、 0.439 、 0.387 、 0.021 ）。

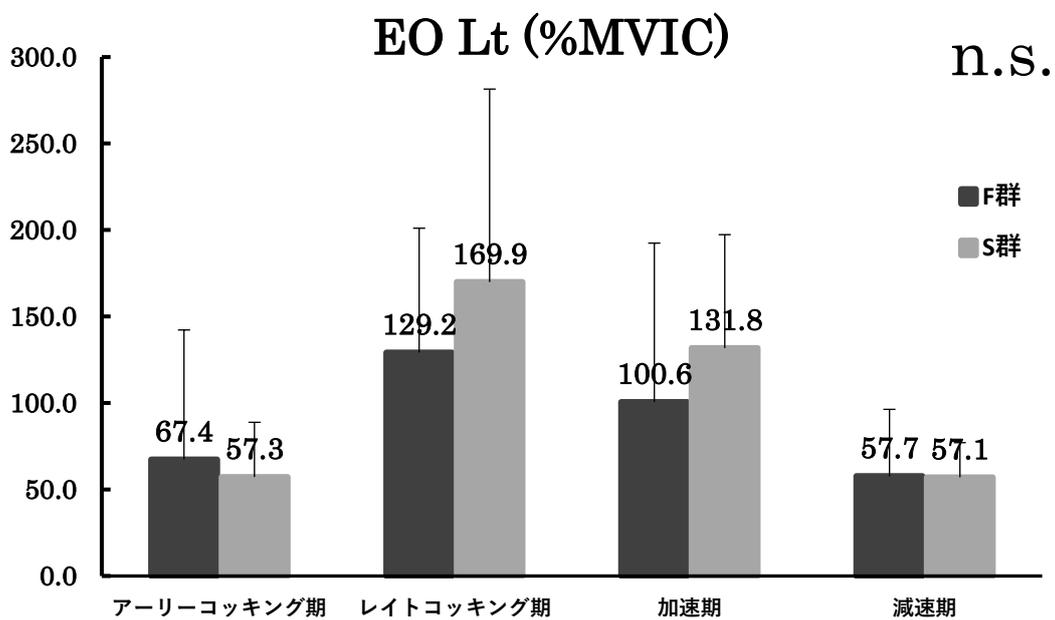


図 11 S 群と F 群における EO Lt の筋活動の比較（Mean ± SD）

右外腹斜筋（EO Rt）は、両群ともにレイトコッキング期において最大の活動を示した（図 12）。統計解析の結果、いずれの期においても F 群と S 群に有意な差を認めなかった（ $p=0.082$ 、 0.320 、 0.983 、 0.066 $d=0.820$ 、 0.522 、 0.387 、 1.274 ）。

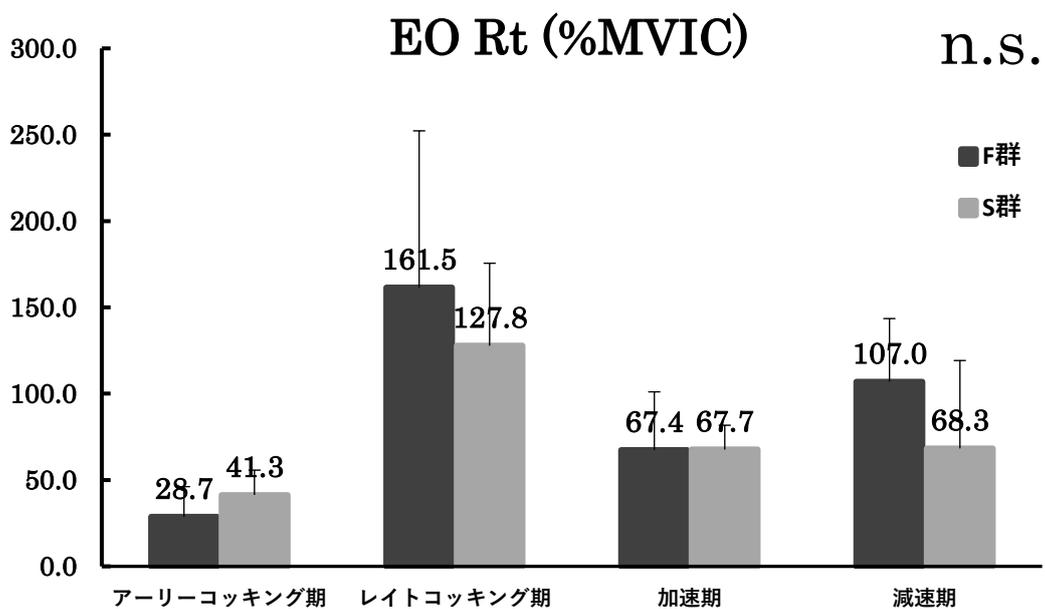


図 12 S 群と F 群における EO Rt の筋活動の比較（Mean ± SD）

左内腹斜筋（IO Lt）は、両群ともにレイトコッキング期および加速期において 100%MVIC を超える活動を示した（図 13）。統計解析の結果、いずれの期においても F 群と S 群に有意な差を認めなかった（ $p=0.695$ 、 0.350 、 0.404 、 0.172 $d=0.139$ 、 0.309 、 0.298 、 0.545 ）。

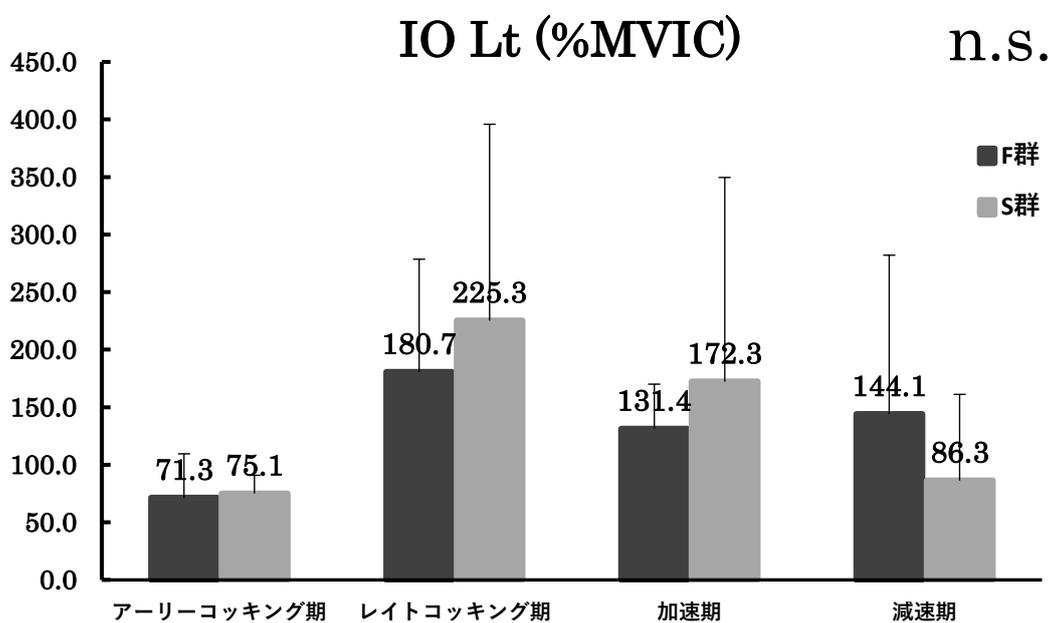


図 13 S 群と F 群における IO Lt の筋活動の比較（Mean ± SD）

右内腹斜筋（IO Rt）は、S群はレイトコッキング期で最大の活動を示し、減速期にかけて活動が減少した。F群はレイトコッキング期で最大の活動を示し、加速期と減速期においても100%MVICを超える活動を示した（図14）。統計解析の結果、減速期においてF群（ $193.7 \pm 204.6\%$ MVIC）はS群（ $69.9 \pm 36.5\%$ MVIC）に比べて有意に大きい活動を示した（ $p=0.634$ 、 0.551 、 0.447 、 0.024 $d=0.167$ 、 0.207 、 0.009 、 0.760 ）。

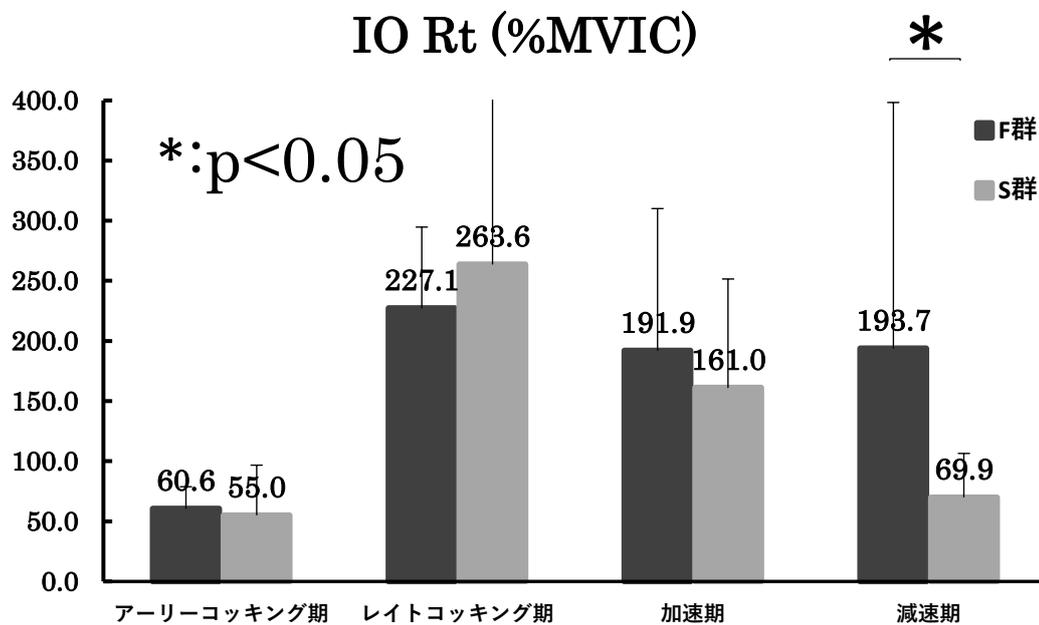


図14 S群とF群におけるIO Rtの筋活動の比較（Mean ± SD）

左脊柱起立筋（ES Lt）は、S群はレイトコッキング期および減速期で100%MVICを超える活動を示し、F群は加速期において100%MVICを超える最大の活動を示した（図15）。統計解析の結果、加速期においてF群（122.0±37.4%MVIC）はS群（78.9±53.5%MVIC）に比べて有意に大きい活動を示した（ $p=0.989$ 、0.369、0.008、0.518 $d=0.005$ 、0.315、0.942、0.212）。

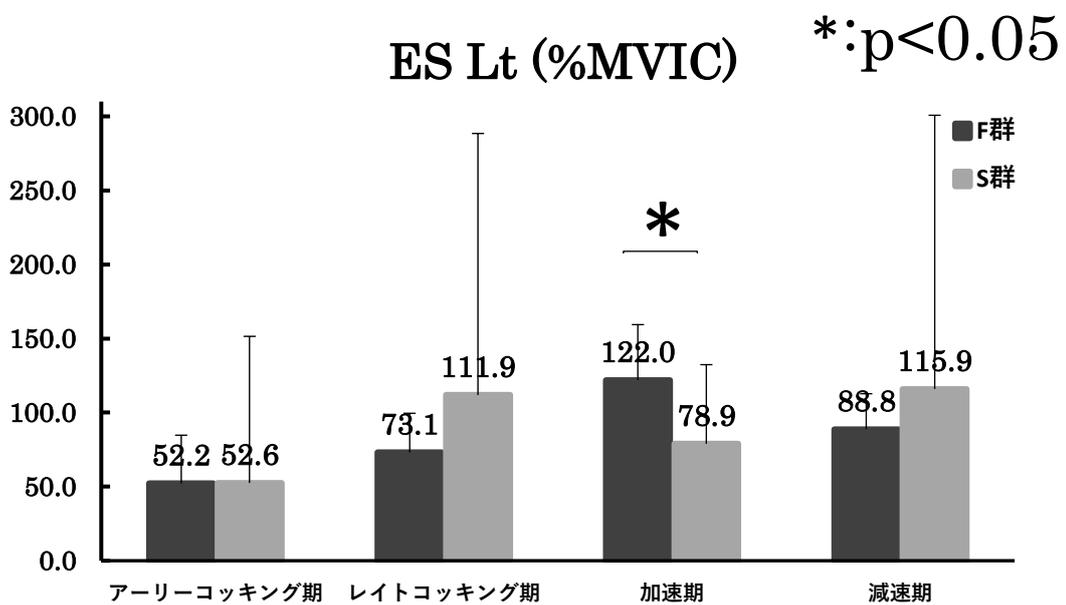


図15 S群とF群におけるES Ltの筋活動の比較（Mean±SD）

右脊柱起立筋（ES Rt）は、両群ともに減速期にかけて活動が増大した。S群は加速期および減速期において100%MVICを超える活動を示した（図16）。統計解析の結果、いずれの期においてもF群とS群に有意な差を認めなかった（ $p=0.089$ 、 0.326 、 0.220 、 0.090 、 $d=0.694$ 、 0.343 、 0.438 、 0.613 ）。

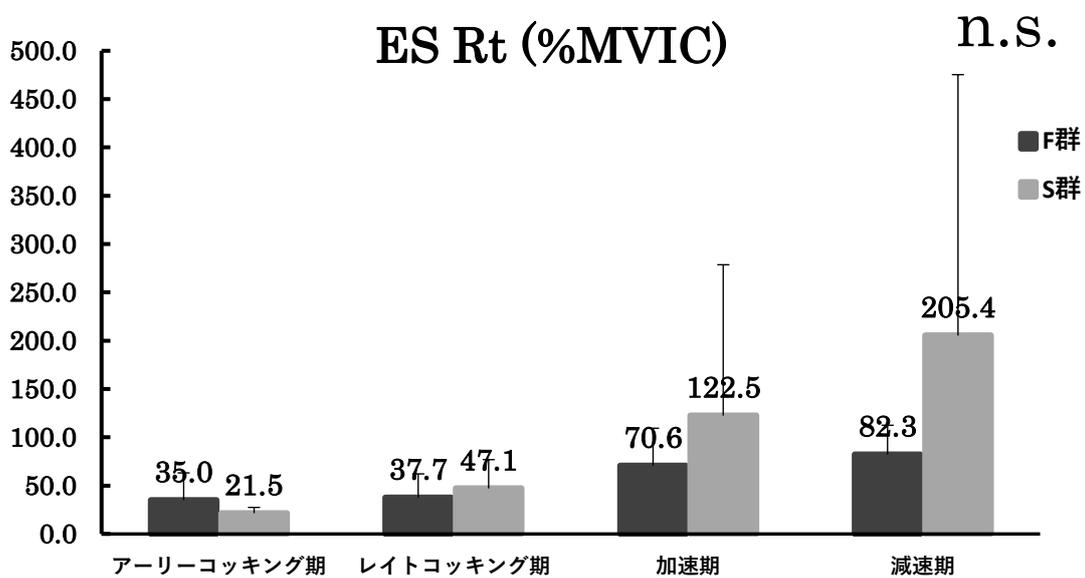


図16 S群とF群におけるES Rtの筋活動の比較（Mean ± SD）

大腿直筋（RF）は、両群ともにレイトコッキング期において最大の活動を示し、以降活動が減少した（図 17）。統計解析の結果、減速期において F 群（ $35.3 \pm 13.2\% \text{MVIC}$ ）は S 群（ $62.0 \pm 34.4\% \text{MVIC}$ ）に比べて有意に小さい活動を示した（ $p=0.265$ 、 0.711 、 0.117 、 0.026 $d=0.456$ 、 0.161 、 0.475 、 0.903 ）。

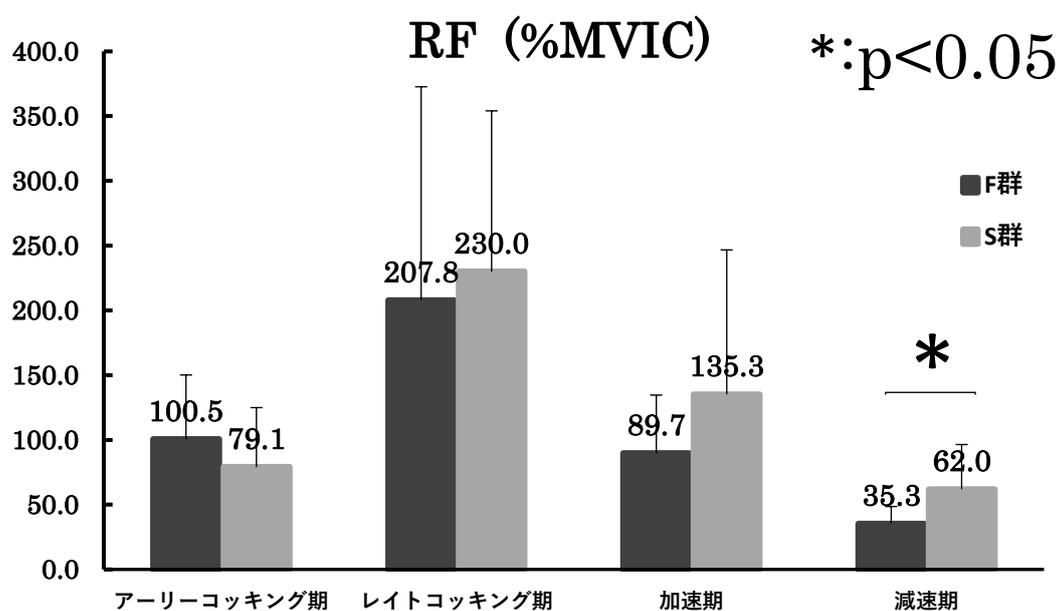


図 17 S 群と F 群における RF の筋活動の比較（Mean ± SD）

大腿二頭筋（BF）は、全ての期において F 群が S 群に比べて大きい活動を示した（図 18）。統計解析の結果、アーリーコッキング期において F 群（ $20.7 \pm 16.6\% \text{MVIC}$ ）は S 群（ $11.9 \pm 6.8\% \text{MVIC}$ ）に比べて有意に大きい活動を示した（ $p=0.039$ 、 0.221 、 0.425 、 0.749 、 $d=0.695$ 、 0.399 、 0.252 、 0.102 ）。

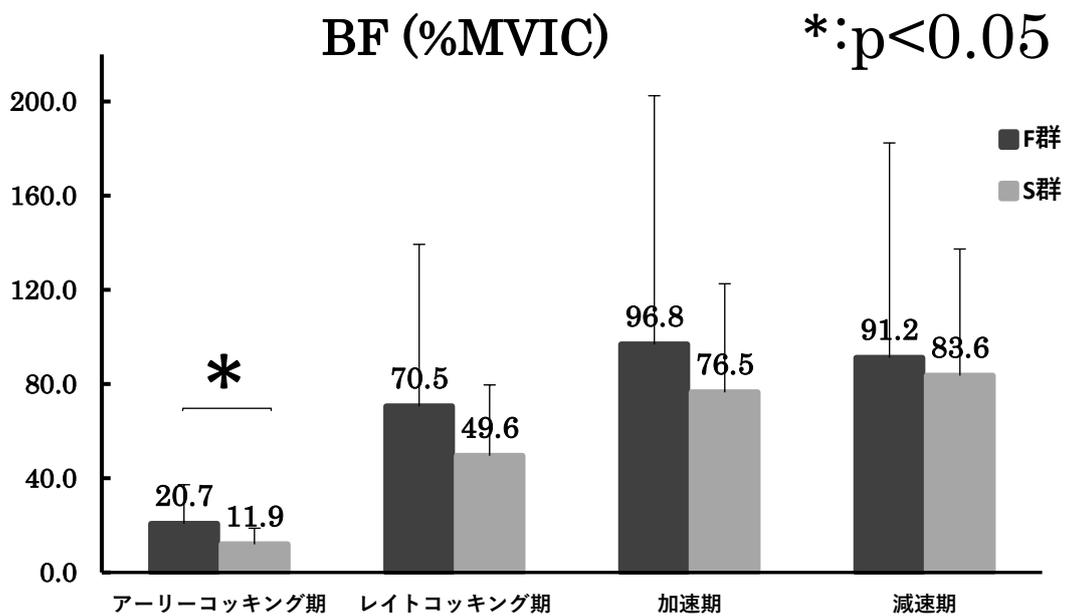


図 18 S 群と F 群における BF の筋活動の比較（Mean ± SD）

大殿筋（GMax）は、両群ともにレイトコッキング期において最小の活動を示し、以降 80%MVIC を超える活動を示した（図 19）。統計解析の結果、アーリーコッキング期において F 群（66.1±36.0%MVIC）は S 群（39.1±25.3%MVIC）に比べて有意に大きい活動を示した（ $p=0.012$ 、0.886、0.163、0.623 $d=0.862$ 、0.047、0.467、0.161）。

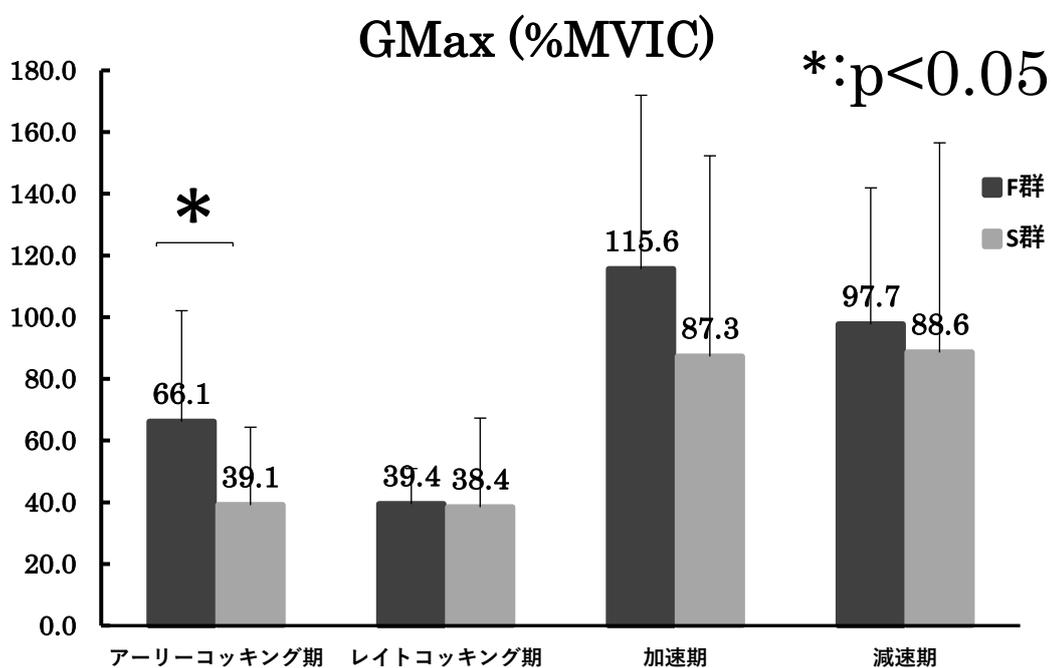


図 19 S 群と F 群における GMax の筋活動の比較（Mean±SD）

第 4 節 考察

本研究は女子野球選手における球速の速い投手（F 群）と球速の遅い投手（S 群）で投球動作と投球時の筋活動を比較すること、女子野球選手と男子野球選手の投球動作を比較することを目的とし、女子野球選手の投球動作の特徴を検討した。

4-1. 投球時の踏込側下肢について

投球時における踏込側下肢は、投球の初期段階に発生した並進運動量を踏込足接地（FC）後の回転運動に変換するという運動連鎖中の重要な役割がある²⁶⁾。Matsuo ら³⁾は、球速の速い投手は FC からボールリリース（BR）にかけて踏込膝を伸展し下肢を固定させることで、体幹の屈曲・非投球側回旋を効率的に行っていると報告した。女子と男子の踏込側膝関節屈曲角度を比較したところ、男子は FC から BR にかけて膝屈曲角度が減少していたが、女子は FC から MER にかけて屈曲角度が増加し（表 5）、先行研究と同様に男女の球速の違いを説明する要因になる可能性がある。一方、F 群と S 群において FC から BR の踏込膝屈曲角度に群間差はなく、両群ともに FC 以降の屈曲角度は増加した（表 7）。シングルレッグスクワット（SLS）²⁷⁾やスクワット¹⁴⁾を行う際、男女で膝・股関節・体幹などの運動戦略に違いがあり、女子は男子に比べて膝関節の屈曲によって重心のコントロールを行っていると報告されている。したがって、女子は投球時の地面反力の吸収・伝達に関わる下肢の戦略が男

子と異なっており、球速に関わらず女子全体の膝関節運動の特徴があると考えられる。

男子野球選手を対象に、SLSと投球時の踏込膝力学の関連を調べた研究²⁸⁾では、SLS中の膝最大外反角度が大きい人ほど投球におけるBR時の膝屈曲角度、FC・BR時の膝外反角度が大きかった。女子は男子に比べてSLS中の膝外反角度が大きいという報告²⁷⁾もあることから、女子投手は膝外反角度が膝屈曲角度に影響している可能性があると考えた。投球中の膝外反角度は、MKE（膝最大挙上時）、MER（肩最大外旋位）、BRにおいて女子が男子に比べて大きい値を示し、男子はFC以降、4～5度の範囲の外反角度を保っていた一方で、女子はFCからMERにかけて、外反角度が増大したことが明らかになった（表5）。F群とS群の膝外反角度は、MIR（肩最大内旋位）において統計的に有意な差があったものの、球速に影響すると考えられるBRまでのタイミングにおいては差を認めず、両群ともにFC後に外反角度が増大した（表7）。これらの結果から、球速に関わらず女子は男子に比べて投球時の踏込膝外反角度が大きく、FC以降に外反角度が増大するという特徴があることがわかった。ジャンプ着地時に生じる過度な膝関節外反は、前十字靭帯損傷の危険因子であることが報告されている²⁹⁾。本研究は投手による投球動作を対象としたが、野手においてステップを伴うダイナミックな送球を行

う際に、女子は前十字靭帯損傷などの傷害発生リスクが高まる可能性があり、女子野球選手を指導する際には注意が必要である。

また、ピアソンの相関係数を用いて投球時の踏込膝外反角度と屈曲角度との関連を調べた。その結果、女子において、FC、MER、BR、MIRにおける膝屈曲角度と膝外反角度に有意な正の相関を認めた（表9）。

表9 各タイミングにおける膝屈曲角度と外反角度の相関

	女子		男子	
	ピアソンの相関係数	p値 (*:p<0.05)	ピアソンの相関係数	p値 (*:p<0.05)
MKE	-0.023	0.887	-0.003	0.984
FC	0.436	0.004*	0.270	0.055
MER	0.514	<0.001*	0.126	0.379
BR	0.529	<0.001*	-0.092	0.522
MIR	0.522	<0.001*	0.077	0.593

松村ら³⁰⁾は、女子は男子に比べて大腿骨前捻角が大きく、立位股関節内旋角度が大きいことの指標になると報告している。本研究において女子は投球時に股関節内旋位で接地したことにより、膝の屈曲にともない外反角度も増加した可能性がある。また投球時、踏込側の大殿筋は遠心性収縮により体幹を支える役割がある³¹⁾。股関節伸展動作において、大殿筋の活動量は股関節内旋位で最も小さくな

る³²⁾ことから、女子は投球時に股関節内旋位で接地した場合、大殿筋の活動量が低下すると考える。女子は大殿筋の活動量低下により股関節が沈み込みながら屈曲することで、膝関節の外的な屈曲モーメント増大につながったと推察される。本結果において男子選手の膝外反角度および角度増加が小さかったことは、研究や指導現場において踏込膝の外反動作がほとんど着目されない理由であるかもしれない。しかし、女子投手には股関節内旋による膝外反に着目し、投球方向へのまっすぐな踏込を指導することで、運動連鎖の初期段階である下肢の安定性を改善し、球速の増加や腰部・上肢など遠位の障害を予防する可能性がある。しかし、膝屈曲角度と外反角度の因果関係は不明であるため、外反角度増大の原因解明や介入トレーニング効果の検証など、さらなる研究を行う必要がある。

また、本結果において女子は男子に比べてFC・MERにおける骨盤左傾斜角度が大きく体幹左側屈角度が小さかった（表6）が、F群とS群においてこれらの角度に差はなかった（表8）。SLSなどの片脚運動課題中の前額面上の安定性低下により起こる代償は、膝の外反以外に骨盤や体幹の傾斜も報告されている³³⁾。そのため女子は投球中、骨盤を早期に踏込脚側へ傾け、体幹の左側屈を抑えることで重心をコントロールする戦略をとっていると推察する。このように踏込下肢の不安定性が骨盤を含めた上位のセグメントへ影響を及ぼすほか、踏込足の接地位置・足部の向きなどで代償を行う可能性がある

る。投球動作の評価において、全身の各セグメントの運動協調性を考慮する必要性が再確認された。

4-2. 投球時の体幹回旋について

FC、MER、BR 時において、男子は女子よりも、F 群は S 群よりも体幹右回旋角度が大きかった（表 6、8）。David ら³⁴⁾は、投球時の骨盤回旋角速度および胸郭回旋角速度の増加が球速の増加に必要であると報告している。FC 時の体幹の右回旋角度を大きくすることで、加速距離の増加や体幹筋の伸長-短縮サイクルにより、より速く体幹を左回旋できると推察する。FC~BR にあたるレイトコッキング期と加速期において F 群と S 群の腹筋群の活動に差を認めなかったものの（図 11~14）、EO Rt（右外腹斜筋）はレイトコッキング期に F 群が S 群より高く活動していた（図 12）。女子においても骨盤と胸郭を分離する体幹回旋動作が球速の増加に大きく影響する可能性がある。今後はより短い区間で筋活動を解析することや、骨盤・体幹の回旋角速度との関係を明らかにすることで、女子において球速の速い投手の体幹回旋動作を詳細に検討できる。

4-3. 投球時の肩関節角度について

一般に、女子は男子よりも関節可動域が大きい³⁵⁾という特徴があるが、女子の投球時の肩最大外旋角度は男子より小さかった(表5)。本研究の対象者における静的可動域の男女差は不明だが、投球時の肩最大外旋角度は静的肩外旋可動域を反映しない可能性がある。また、女子は男子より野球歴が短かった(表2)ことから、投球の繰り返しにより肩外旋可動域が増大する³⁶⁾という先行研究を支持する結果となった。さらに男子を対象とした多くの研究で、球速の速い投手は遅い投手より肩最大外旋可動域が大きい³⁾ことが明らかになっているが、F群とS群の肩最大外旋角度に差はなかった。このことから、女子選手の球速増大への直接的な貢献は上肢ではなく体幹部が担っていることが示唆された。

また、女子においてF群はS群よりFC時の肩水平外転角度が大きかった(表7)。投球時の過度な肩水平外転は肩前方剪断力を増大させ、腱板損傷やインターナルインピンジメントなどの肩障害の原因になる³⁷⁾。FC時のF群の肩水平外転角度は、男子と同程度の値を示した(表5、7)。しかし、水泳選手における肩障害発生要因を調べた研究³⁸⁾では、関節弛緩性の高い女子では過剰な練習による回旋筋腱板への疲労が肩障害発生要因であり、男女で肩障害発生要因が異なることが報告されている。したがって、女子投手において過度な水平外転の繰り返しは、男子よりも肩障害につながりやすい可能性がある。肩甲上腕関節前方の剪断力を軽減するため、FC時における胸郭の右回旋や肩甲骨の内転動作を行うこと、回旋筋腱板の筋力を低下させないコンディショニングを行うことが、女子の肩障害予防に重要であると推察する。女子投手における肩水平外転角度と傷害発

生率の関係は不明であるため、今後は前向き調査により傷害発生リスクとなる「過度」な水平外転角度を定義する必要がある。

4-4. 研究の限界

本研究の対象者は、女子軟式野球チームに所属する選手であり、今回使用した硬式球での投球に慣れていない選手が多いと考えられる。

また、本研究では対外試合で登板経験のある女子投手を対象にしたが、その中で投手を専門にする選手は限られており、多くが他ポジションと兼任する選手であった。しかし、比較対象とした男子選手も専門のポジションは様々であったため、男女の比較は同条件で行えたと考える。今後は、投手を専門とする選手のみを対象にすることで、ポジションが投球動作の違いに与える影響を排除する必要がある。

本研究では、より多くの女子投手を募集するために出場大会のレベルや競技年数による包含基準を設けなかった。そのため女子選手の野球歴は男子選手よりも短く、競技歴が3年ほどの投手も含んでいた。投手のレベルのばらつきが大きく、スキルが球速に大きく影響したと考えられる。今後は競技年数の条件を統一し、検討する必要がある。

立位姿勢時のアライメントにおいて、骨盤の前後傾角度が男女で15度以上の差を認め、骨盤との相対的な角度である体幹・股関節の矢状面上の角度にも男女で10度前後の差が生じた。検査者による静止立位姿勢計測時の指示やマーカー貼付位置の誤差があった可能性がある。また、胸部・骨盤および大転子の赤外線反射マーカーはコ

ンプレッションインナーの上から貼付したため、インナーの動きによる影響を受けた可能性がある。

また、投球動作は室内の実験室にて行った。今後は距離や地面、シューズなどの条件を実際の環境に近づけて実験を行う必要がある。

第 5 節 結論

女子野球選手と男子野球選手の投球キネマティクスには、複数の違いがあった。球速の違いに関わらず、女子は踏込側膝関節の屈曲角度が大きく、これには踏込足接地以降の膝関節外反角度の増大が影響していることが示唆された。女子投手の指導において、踏込膝外反運動に着目することで、傷害予防・競技力向上につながる可能性があり、今後さらなる研究が必要である。

参考文献

- 1) Seroyer S, Nho S, Bach B, et al. The kinetic chain in overhand pitching: its potential role for performance enhancement and injury prevention. *Sports Health*. 2010; 2(2):135-146.
- 2) Chen H, Liu C, Yang W, Coordination pattern of baseball pitching among young pitchers of various ages and velocity levels. *Journal of Sports Sciences*. 2016; 34(17):1682-1690.
- 3) Matsuo T, Rafael F, Glenn S, Fleisig, et al. Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*. 2001;17:1-13.
- 4) Stodden D, Fleisig G, McLean S, et al. Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of Applied Biomechanics*. 2001;17(2):164-172.
- 5) Escamilla R, Fleisig G, Barrentine S, et al. Kinematic and kinetic comparisons between American and Korean professional baseball pitchers. *Sports Biomechanics*. 2002; 1: 213–228.
- 6) Brittany D, Walter L, Reed G, et al. Kinematic and kinetic comparison between American and Japanese collegiate pitchers. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2020; 23(12): 1202-1207.
- 7) 全国高等学校女子硬式野球連盟, “全国高等学校女子硬式野球連盟・加盟校一覧”. <http://www.jhgbf.org/category/column/>, 2021-12-11
- 8) 鳥居昭久, 米田實, 大学女子野球におけるスポーツ損傷の実態. *Sports injuries in university women's baseball players*. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2016; 24(1): 36-43.
- 9) Fleisig G, Andrews, James R, et al. Kinematics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*. 1995; 23(2): 233-239.
- 10) Fleisig G, Barrentine S, Zheng N, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of Biomechanics*. 1999; 32: 1371-1375.
- 11) Aguinaldo A, Chambers H, Correlation of Throwing Mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *American Journal of Sports Medicine*. 2009; 37:2043-2048.

- 12) 東善一, 松井知之, 瀬尾和弥ら, 女子プロ野球投手における投球フォームと肘関節最大内反トルクとの関連. 日本肘関節学会誌. 2016;23(2): 5-8.
- 13) Cho H, Park J, Kwon O, Gender differences in three dimensional gait analysis data from 98 healthy Korean adults. *Clinical Biomechanics*. 2004; 19: 145-152.
- 14) Mckean M, Burkett B, Dose segment length influence the hip, knee and ankle coordination during the squat movement? *Journal of Fitness Research*. 2012; I :23-30.
- 15) Liu H, Leigh S, Yu B, Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing. *Journal of Sports Sciences*. 2010; 28(13): 1459-1467
- 16) Fuchs P, Menzel H, Guidotti F, et al. Spike jump biomechanics in male versus female elite volleyball players. *Journal of Sports Sciences*. 2019; 37(21): 2411-2419.
- 17) Chu Y, Fleisig S, Simpson K, et al. Biomechanical comparison between elite female and male baseball pitchers. *Journal of Applied Biomechanics*. 2009; 25: 22-31.
- 18) 伊藤博一, 中里浩一, 渡會公治ら, 女子野球選手の投動作における体幹回旋運動の特徴—体幹回旋運動と上肢投球障害—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2004; 12(3): 469-477.
- 19) 中村真里, 中村康雄, 林豊彦ら, 投球動作解析システムによるTOPポジションの運動学的解析. *バイオメカニズム*. 2002; 16:13-25.
- 20) 久保田錬, 投球動作における前腕筋群の筋活動解析-日米のプロ野球公認球間の比較-. 早稲田大学スポーツ科学研究科 2019年修士論文.
- 21) 飯塚哲司, 水泳競技における筋活動解析. 早稲田大学スポーツ科学研究科 2018年博士論文.
- 22) Ng. J., Kippers V, Richardson C, Muscle fibre orientation of abdominal muscles and suggested surface EMG electrode positions. *Electromyography and clinical neurophysiology*. 1998; 38(1):51-58.
- 23) Michelle B. Sabick, Michael R. Torry, et al. A biomechanical study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2004; 13(3) 349-355.

- 24) Fleisig G, Escamilla R, Andrews J, et al: Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *Journal of Applied Biomechanics*. 1996; 12(2):207-224.
- 25) Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. 1988.
- 26) Ramsey D, Croft R. Effect of stride length on overarm throwing delivery: part II: An angular momentum response. *Human Movement Science*. 2016; 46: 30-38.
- 27) Graci V, Dillen L, Salsich G, Gender differences in trunk, pelvis and lower limb kinematics during a single leg squat. *Gait & Posture*. 2012; 36: 461-466.
- 28) Wasserberger K, Barfield J, Anz A, et al. Using the single leg squat as an assessment of stride leg knee mechanics in adolescent baseball pitchers. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2019; 22: 1254-1259.
- 29) Hewer T, Myer T, Ford K, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. 2005; 33(4): 492-501.
- 30) 松村将司, 宇佐英幸, 小川大輔ら, 骨盤・下肢アライメントの年代間の相違とその性差 —20-70代を対象とした横断研究—. *理学療法科学*. 2014; 29(6):965-971.
- 31) 平山大作, 藤井範久, 小池関也ら, 野球投手の投球数の増加による下肢関節の力学的仕事量の変化. *体育科学*. 2010; 59: 225-232.
- 32) Morimoto Y, Oshikawa T, Imai A, et al. Piriformis electromyography activity during prone and side-lying hip joint movement. *The Journal of Physical Therapy Science*. 2018; 30: 154-158.
- 33) Kibler W, Press J, Sciascia A, The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*. 2006; 36(3):189-198.
- 34) Stodden D, Fleisig G, McLean S, et al. Relationship to pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of applied biomechanics*. 2001; 17: 164-172.
- 35) Riemann B, DeMont R, Ryu K, et al. The effect of sex, joint angle, and the gastrocnemius muscle on passive ankle joint complex stiffness. *Journal of Athletic Training*. 2001; 36(4): 369-377.

- 36) Meister K, Day T, Horodyski M, et al. Rotational motion changes in the glenohumeral joint of the adolescent little league baseball player. *American Journal of Sports Medicine*. 2005; 33: 693-698.
- 37) Takagi Y, Oi T, Tanaka H et al. Increased horizontal shoulder abduction is associated with an increase in shoulder joint load in baseball pitching. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 2014; 23: 1757-1762.
- 38) Mise T, Mitomi Y, Mouri S, et al. Hypomobility in males and hypermobility in females are risk factors for shoulder pain among young swimmers. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2021; In press.

謝辞

修士論文の執筆に際し、ご指導・ご協力いただいた全ての方々に心から感謝いたします。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、金岡恒治先生には学部2年時よりご指導いただき、研究内外において多くの学びを得ることができました。授業では臨床のご経験や面白さをお話いただき、先生の学生を惹きつける伝え方に刺激をうけるとともに、今後も医療に関わりたいと思うことができました。広い視野を持ち、社会や他人のために常に建設的に考え行動する金岡先生のような社会人になりたいです。5年間、本当にありがとうございました。

温かいお言葉とともに副査を快く引き受けてくださった早稲田大学スポーツ科学学術院教授、鳥居俊先生、矢内利政先生には心からお礼申し上げます。

本研究の対象者を快く引き受けてくださった、早稲田大学女子野球部 WASEBI、日本女子体育大学軟式野球部、上智大学女子野球部、ワイルド・ブルーローズ、東京アンビシャスの皆様に感謝申し上げますとともに、今後のご活躍を応援しております。

早稲田大学スポーツ科学学術院助教、押川智貴先生には、5年間大変お世話になりました。進学を決意できたのも、安心して修士課程を過ごすことができたのも、押川さんのおかげです。修士課程での2年間は、文章や発表の添削を数多く行っていただいたことはもちろん、研究室での役割や人にわかりやすく伝える方法など多くのご助言をいただき、成長することができました。たくさんご迷惑をおかけしましたが、私たちに根気強く向き合ってください、深く感謝いたします。研究を楽しむ気持ちを持ち続ける押川さんのように、何

事も前向きに取り組む大人になります。招聘研究員の阿久澤弘先生には、実験や研究室に関する相談にいつも優しく応じていただきました。コロナ禍で始まった修士課程の生活において、阿久澤さんの気配りに救われることが数多くありました。また、聖学院大学の松永直人先生には動作解析を行うに際し、非常にお世話になりました。松永先生のお力添えがなければ、本研究を行うことはできませんでした。丁寧なご説明や温かいお言葉をくださったことに、感謝いたします。OBの久保田錬さんには、学部時代から修士を見据えたご助言を多くいただき、本研究でのデータ使用を快く引き受けてくださいました。研究以外にも進路や人間関係等のご相談にも多くの時間を割いてくださり、感謝いたします。同期の土定寛幸さん、松下大輝さんには、いつも精神的に支えていただき、切磋琢磨しあうことができました。また、広瀬研究室修士課程2年、織部雅之さんには、野球の研究をする仲間として支えていただき、多くのご意見をくださったことに、感謝いたします。5年間多大なご指導・ご支援いただいた金岡研究室の先輩・後輩の皆様にも、心よりお礼申し上げますとともに、今後のご活躍をお祈りいたします。

最後に、いつも私の進路を応援し、24年間支えてくれた家族に心より感謝申し上げます。

2021年12月29日

松本 美瑛