

2019年度 修士論文

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-

Analysis of forearm muscle activity during pitching motion

- Comparison between Japanese and American professional official balls -

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

5018A032-5

久保田 錬

研究指導教員： 金岡 恒治 教授

# 目次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 節 緒言 .....             | 1  |
| 第 2 節 方法 .....             | 6  |
| ・ 2-1) 対象者 .....           | 6  |
| ・ 2-2) 実験設定 .....          | 7  |
| ・ 2-2-1) 動作計測 .....        | 7  |
| (1) 計測環境設定 .....           | 7  |
| (2) 赤外線反射マーカー貼付位置 .....    | 8  |
| (3) 座標系の設定 .....           | 9  |
| ・ 2-2-2) 筋活動計測 .....       | 11 |
| (1) 計測環境設定 .....           | 11 |
| (2) 電極貼付 .....             | 11 |
| (3) 最大随意等尺性収縮 .....        | 14 |
| ・ 2-2-3) 球速の計測 .....       | 16 |
| ・ 2-3) 実験手順 .....          | 16 |
| ・ 2-4) データ解析 .....         | 17 |
| ・ 2-4-1) 解析試技 .....        | 17 |
| ・ 2-4-2) Phase 分け .....    | 18 |
| ・ 2-4-3) 角度および角速度の算出 ..... | 19 |
| ・ 2-4-4) 筋活動量の算出 .....     | 21 |

|   |           |
|---|-----------|
| ・ 2-5) 筋活動における外れ値の処理 .....                  | 22        |
| ・ 2-6) 統計処理 .....                           | 22        |
| <b>第 3 節 結果 .....</b>                       | <b>23</b> |
| ・ 3-1) 各条件における球速の比較 .....                   | 23        |
| ・ 3-2) 投球時の筋活動 .....                        | 24        |
| ・ 3-3) Phase 間における前腕筋群の筋活動比較 .....          | 25        |
| ・ 3-3-1) Phase 間における FCU の筋活動比較 .....       | 25        |
| ・ 3-3-2) Phase 間における PT の筋活動比較 .....        | 26        |
| ・ 3-3-3) Phase 間における FDS の筋活動比較 .....       | 28        |
| ・ 3-3-4) Phase 間における ECR の筋活動比較 .....       | 29        |
| ・ 3-4) 条件間における前腕筋群の筋活動比較 .....              | 31        |
| ・ 3-4-1) NPB 球と MLB 球間における前腕筋群の筋活動比較 .....  | 31        |
| ・ 3-4-2) DRY 条件と WET 条件間における前腕筋群の筋活動比較 .... | 32        |
| ・ 3-4-3) 重量の違いによる前腕筋群の筋活動比較 .....           | 35        |
| ・ 3-5) 投球時の各関節の角度および角速度変位 .....             | 36        |
| ・ 3-4-1) 投球時の肩部における角度・角速度変位 .....           | 36        |
| ・ 3-4-2) 投球時の肘部および前腕部における角度・角速度変位 .....     | 37        |
| ・ 3-4-3) 投球時の手部における角度・角速度変位 .....           | 39        |
| ・ 3-6) 各タイミング時の各関節キネマティクスの比較 .....          | 41        |
| ・ 3-5-1) NPB 球と MLB 球間におけるキネマティクスの比較 .....  | 41        |
| ・ 3-5-2) DRY 条件と WET 条件間におけるキネマティクスの比較 .... | 43        |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| ・ 3-5-3) ボール重量の違いによるキネマティクスの比較 ..... | 45        |
| ・ 3-7) 主観的評価 .....                   | 47        |
| ・ 3-6-1) NPB球とMLB球の比較 .....          | 47        |
| ・ 3-6-2) 全条件間の比較 .....               | 48        |
| <b>第4節 考察 .....</b>                  | <b>49</b> |
| ・ 4-1) 投球における前腕筋群の筋活動様式について .....    | 49        |
| ・ 4-2) NPB球とMLB球間の差について .....        | 50        |
| ・ 4-3) DRY条件とWET条件間の差について .....      | 53        |
| ・ 4-4) 重量の差における筋活動と動作について .....      | 54        |
| ・ 4-5) 研究の限界 .....                   | 54        |
| <b>第5節 結論 .....</b>                  | <b>57</b> |
| ■ 参考文献 .....                         | 58        |
| ■ 謝辞 .....                           | 68        |

## 第1節 緒言

野球は肘や肩など上肢の障害が好発するスポーツである<sup>1)2)3)4)5)</sup>。Posnerらは<sup>1)</sup>、2002年から2008年にMLBで行った傷害調査において、全傷害の67%は上肢の傷害であり、そのうち肘と肩の傷害発生数が同程度であったと報告している。またConteらが行った傷害調査において<sup>2)</sup>、肘投球障害の発生数と発生後の復帰に要する期間が増加していた。中でも、復帰まで6か月以上を要していた肘尺側副靭帯損傷(以下UCL損傷)の発生数の増加について問題視している。

近年、日本野球機構(以下NPB)からMajor League baseball(以下MLB)に移籍した投手において、UCL損傷が発生したとのニュースを目にすることがよくある。2007年から2019年にNPBからMLBへ移籍した投手および投球肘障害が発生した投手24名を表1示す。

**表 1 2007 年以降に NPB から MLB へ移籍した投手において  
発生した投球肘障害**

| 選手名     | 公開日       | 球団からの情報公開内容  |
|---------|-----------|--|
| 松坂大輔    | 2011/5/18 | Boston Red Sox placed RHP Daisuke Matsuzaka on the 15-day disabled list retroactive to May 17, 2011. Right elbow sprain.                       |
| 井川慶     |           |  |
| 桑田真澄    |           |  |
| 福盛和男    |           |  |
| 小林雅英    |           |  |
| 黒田博樹    |           |  |
| 薮田安彦    |           |  |
| 上原浩治    | 2009/6/28 | Baltimore Orioles placed RHP Koji Uehara on the 15-day disabled list retroactive to June 24, 2009. Right elbow tendinitis.                     |
| 川上憲伸    |           |  |
| 高橋建     |           |  |
| 田澤純一    | 2010/4/3  | Boston Red Sox placed RHP Junichi Tazawa on the 60-day disabled list. Sprained right elbow ligament.   |
| 高橋尚成    |           |  |
| 五十嵐亮太   |           | (東京ヤクルトスワローズ時代)  |
| 建山義紀    |           |  |
| ダルビッシュ有 | 2014/8/13 | Texas Rangers placed RHP Yu Darvish on the 15-day disabled list retroactive to August 10, 2014. Right elbow inflammation.                      |
| 岩隈久志    |           |  |
| 藤川球児    | 2014/3/30 | Chicago Cubs placed RHP Kyuji Fujikawa on the 15-day disabled list retroactive to March 21, 2014. Recovering from June 2013 Tommy John surgery |
| 田中将大    | 2014/7/9  | New York Yankees placed RHP Masahiro Tanaka on the 15-day disabled list. Right elbow inflammation.   |
| 和田毅     | 2013/3/31 | Baltimore Orioles placed LHP Tsuyoshi Wada on the 15-day disabled list retroactive to March 22, 2013. Left elbow surgery.                      |
| 村田透     |           |  |
| 前田健太    |           | (入団直前の検診でリスク有診断)   |
| 大谷翔平    | 2018/6/8  | Los Angeles Angels placed RHP Shohei Ohtani on the 10-day disabled list retroactive to June 7, 2018. Right elbow UCL sprain.                   |
| 平野佳寿    | 2019/8/17 | Arizona Diamondbacks placed RHP Yoshihisa Hirano on the 10-day injured list. Right elbow inflammation.   |
| 牧田和久    |           |  |

検索には MLB.com (<https://www.mlb.com/>)を用い, キーワードは「“2007 年から 2019 年に移籍した投手名”」とし, 投球肘障害の定

義は主訴の部位が「elbow」もしくは「forearm」とした。24人中投球肘障害が発生した選手は9名であり、その内の6名が2019年から5年以内に投球肘障害を発症していた。そのため、投球肘障害のリスクとして、NPBとMLBにおける環境の違いが着目されている。

NPBとMLBの環境の違いとして、Pitch smartによる投球数制限に関する考え方や<sup>6)</sup>、マウンドの違い<sup>7)</sup>、ボールの違いなど様々な要因が挙げられる<sup>8)9)</sup>。その中でも、ボールの違いは投球動作に与える影響が大きいと考える<sup>10)11)12)</sup>。以下にNPBで使用されている統一試合球(以下NPB球)とMLBで使用されている公認球(以下MLB球)の違いについて示す。野球のルール(規則)は米国ではOfficial Baseball Rules、日本ではOfficial Baseball Rulesを基に作成した公認野球規則によって定められている。ボールの規定は、両国の野球のルールにおいて、3章1節におけるボールに関する規定により、ボールの周囲は9inch(22.9cm)～9inch 1/4(23.5cm)、ボール重量は5oz(141.7g)～5oz 1/4(148.8)と定められている。NPB球では下限、MLB球は上限に合わせて生産されているためNPB球に対してMLB球の方が大きく、重いとされている<sup>9)</sup>。加えて、NPBでは日本における公認野球規則によってボールの縫い目の幅は5/16inch(0.8cm)、縫い目の高さは1/28inch(0.9mm)、縫い目の数は108と定めている<sup>13)</sup>。NPBからMLBに移籍した一投手の主観的な感想になるが、NPB球に対してMLB球の方が滑りやすく、縫い目が高いとの意見がある<sup>8)</sup>。

野球における投球障害の好発は、肘や肩に過度な負荷が加わるボールを投げる動作(以下：投球動作)の繰り返しが、競技特性上必要不可欠であるためである<sup>14)15)</sup>。一連の投球動作は開始から終了ま

でが 2~3 秒程度で、下肢から生じた力を体幹、上肢へタイミングよく伝達し、上肢末端部の運動速度を加算しながら、最終的にボールへ力を伝える<sup>16)17)18)</sup>。そのため強い力発揮と繊細な運動連鎖が求められる動作である。

投球時における体幹および投球腕の関節運動に着目したボール速度の貢献度の報告では<sup>18)19)</sup>、ボールの加速における運動において肩関節外旋から内旋、肘関節の屈曲から伸展、前腕の回外から回内、手関節の背屈から掌屈および撓屈から尺屈、手指の伸展から屈曲が生じ、角速度の最大値はボールリリース前後に出現するとされている。肩関節の最大内旋角速度は  $5300 \pm 1490 \text{ deg/s}$ 、肘関節の最大伸展角速度は  $2206 \pm 298 \text{ deg/s}$ 、手関節の最大掌屈角速度は  $2320 \pm 556 \text{ deg/s}$  であり、日常生活では起こりえないほど高値を示す<sup>20)</sup>。これらの関節における高速な運動を制御するために、関節をまたぐ筋や韌帯などの軟部組織が機能する必要がある。

Fleisig らの報告によると<sup>21)</sup>、投球動作中に加わる外反ストレスに抗して、肘に外反ストレスと同等の大きな内反トルクが生じる。投球動作中に生じる肘内反トルクは約  $64 \text{ Nm}$  であり<sup>21)</sup>、UCL の破断強度である  $34 \text{ Nm}$  を上回っていることから<sup>22)</sup>、肘内反トルクの増大は UCL への投球肘障害の発生に影響すると考えられている<sup>23)24)</sup>。内反トルクが増大する要因として、投球動作の不良や<sup>25)</sup>、運動連鎖の破綻<sup>26)27)</sup>があり、またマウンドの違い<sup>28)</sup>、ボール重量の違い<sup>29)</sup>など投球環境の違いが投球動作に影響を与え、関節への負荷を増大させることが報告されている。そのため、投球動作中に UCL へ加わる負荷を減少させるために、投球動作の改善や<sup>30)</sup>、肘内側に付着する筋による外反制動が必要となる<sup>31)32)33)34)35)</sup>。前腕回内屈筋群

が外反制動機能を持つことは、それらの筋の走行や<sup>31)</sup>、新鮮屍体の肘に外反ストレスを加えた時に、前腕屈筋群の筋活動を模した筋収縮を生じさせた場合 UCL への負荷が減少したことが報告されている<sup>32)33)</sup>。さらに円回内筋にワイヤー電極を刺入して筋活動を測定した研究では、肘関節に外反負荷を加えると円回内筋が活動したことが報告されている<sup>34)</sup>。また健常群と UCL 再建群を対象に前腕回内屈筋群と前腕伸筋群にワイヤー電極を刺入して、投球時の筋活動を比較した研究では、両群ともにボールを加速する Phase でこれらの筋活動が高まるが、UCL 再建群選手は前腕回内屈筋群の筋活動が低下していたと報告している<sup>35)</sup>。これらのことから、前腕回内屈筋群は肘外反制動機能を有し、UCL 損傷の予防に寄与している可能性が推察される。

この前腕回内屈筋群は、ボールの把持やボールに最終的な力を加える手関節および手指の掌屈、屈曲運動にも関与する。そのため、ボール性状の違いはこれらの筋の活動を変化させる可能性がある。しかし、ボール性状の違いによる前腕回内屈筋群の筋活動変化と上肢拳動の変化を同時に測定し、報告した研究はない。

そこで本研究の目的は、投球時における前腕筋群の活動を明らかにし、大きさや重さ、性状の異なるボールの投球が、筋活動および肩、肘、手部の角度と角速度へ及ぼす影響について明らかにすることとした。比較するボール条件は、①”NPB 球”と”MLB 球”的比較、②より滑り易いボールを再現するためにボールを濡らした”WET 条件”と通常のボール(NPB 球)の”DRY 条件”的比較、③極端に重量の異なるボール(”3oz”, ”NPB 球”, ”7oz”)の比較とした。

## 第2節 方法

### ・ 2-1) 対象者

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に募集をかけ、17 名の選手(平均年齢 :  $20 \pm 1$  歳, 平均身長  $171.9 \pm 4.8$  cm, 平均体重  $68.7 \pm 7.3$  kg, 平均競技歴  $13 \pm 1$  年)が本研究に参加した。除外基準は、肩関節及び肘関節に重篤な障害(UCL 損傷, 離断性骨軟骨炎, 肩インピングメント症候群等)の既往がある選手, 最大努力で投球動作を行えない選手とした。対象者のポジションの内訳は投手 2 名, 捕手 1 名, 内野手 11 名, 外野手 3 名であった。また, 右投げの選手は 15 名, 左投げの投手は 2 名であった。対象者の投球フォームは投手のうち 1 名がサイドスロー, その他の選手は全てオーバースローの選手であった。本実験を実施する前に, 全対象者に対して倫理的配慮に関する説明を十分に行い, 書面にて実験参加の同意を得た。本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する研究倫理委員会」の承認(2019-166)を得て実施した。

## ・ 2-2) 実験設定

### ・ 2-2-1) 動作計測

#### (1) 計測環境設定

計測は室内で行い、的(M-75 幕布 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。計測には光学式三次元動作解析装置の赤外線カメラ (OQUIS 300 plus, Qualysis 社製) 8 台を用いて、対象者に貼付した各反射マーカーの 3 次元空間位置座標を投球動作開始から終了まで測定した。投球動作の計測における Sampling rate は 250Hz に設定した。また、対象者の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 は 240Hz にて撮影した。実験環境を図 1 に示す。

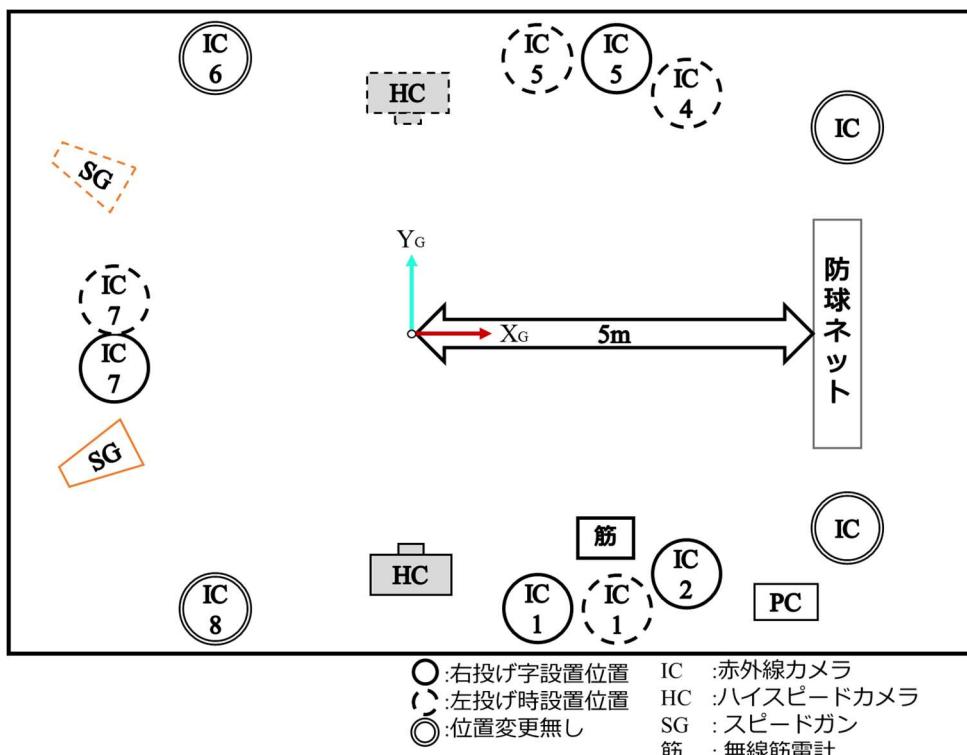


図 1 実験環境

光学式三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三次元解析のデータを同期した。光学式三次元解析装置におけるグローバル座標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正対し、左方向を Y 軸、原点から鉛直方向を Z 軸とした。

## (2) 赤外線反射マークー貼付位置

対象者の動作解析を行うために、触診により 39箇所の解剖学的骨特徴点を同定し、その体表上に直径 16mm の赤外線反射マークー(QPM190, Qualysis AB)を両面テープにて貼付した：頭頂部、耳珠(Sq), 第 7 頸椎棘突起(C7), 第 7 胸椎棘突起(Th7), 胸骨上切痕(SC), 劍状突起(Px), 肩峰(AC), 上腕骨外側上顆(LEE), 上腕骨内側上顆(MEE), 橋骨茎状突起(RS), 尺骨茎状突起(US), 第三中手骨頭背側(HF3), 上前腸骨棘(ASIS), 上後腸骨棘(PSIS), 大転子(GT), 大腿骨外側上顆(LEF), 大腿骨内側上顆(MEF), 脛骨粗面(TT), 外果(LM), 内果(MM), 第三中足骨頭背側(FF3), 跖骨隆起(CT). 汗による剥離を防ぐため、キネシオテープで両面テープの補強を行った。



図 2 赤外線反射マーカーおよび電極貼付位置

### (3) 座標系の設定

座標系投球動作の解析のために、全体を剛体リンクモデルと仮定し、座標系を各セグメントに設定する必要がある。本研究では体幹部、上腕部、前腕部、手部に座標系を設定した。次に各座標系の設定方法について述べる。体幹座標系の Z 軸は Th7 と Px の中点から C7 と SC の中点へ向かうベクトルとした。X 軸は Th7 から Px に向かうベクトルと Z 軸との外積とした。Y 軸は Z 軸と X 軸との外積とした。上腕座標系の X 軸は AC から LEE と MEE の中点へ向かう

ベクトルとした。Y 軸は MEE から LEE へ向かうベクトルと X 軸との外積とした。Z 軸は X 軸と Y 軸の外積とした。前腕座標系の X 軸は LEE と MEE の中点から RS と US の中点へ向かうベクトルとした。Y 軸は US から RS へ向かうベクトルと X 軸の外積とした。Z 軸は X 軸と Y 軸の外積とした。手部座標系の X 軸は RS と US の中点から HF3 へ向かうベクトルとした。Y 軸は US から RS へ向かうベクトルと X 軸の外積とした。Z 軸は X 軸と Y 軸の外積とした。また、非投球側の LEF と MEF の中点を膝部座標(NDK: Nondominant Knee), LM と MM の中点を足部座標(NDF: Nondominant Foot)とした。設定した座標を図 3 に示す。

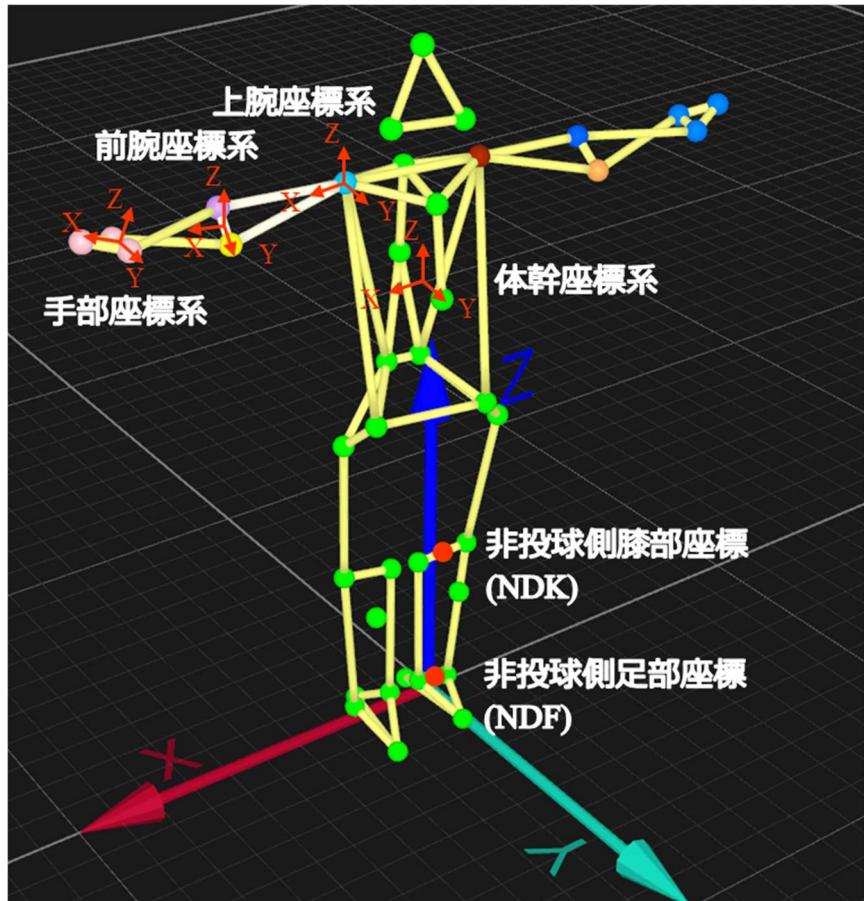


図 3 座標設定

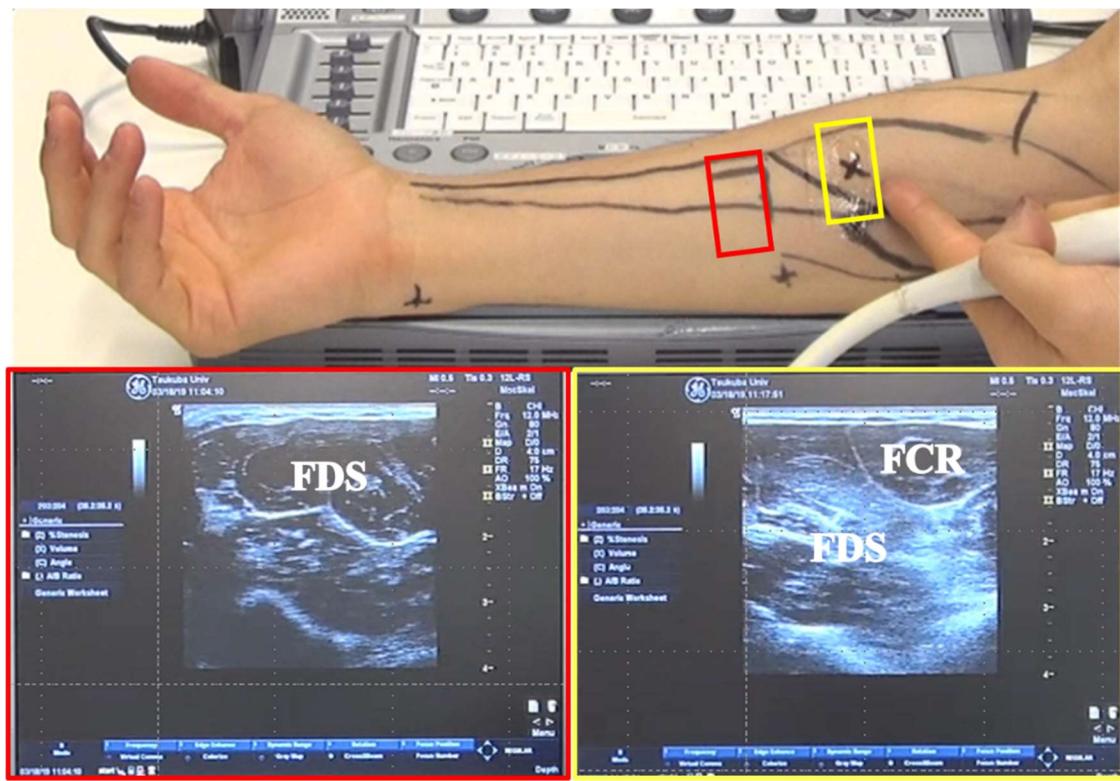
・ 2-2-2) 筋活動計測

(1) 計測環境設定

筋活動は光学式三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(BioLog DL-5000, S&ME 社製)を用いて、体表上から測定した。Sampling rate は 1000Hz に設定した。

(2) 電極貼付

対象とする前腕筋は、尺側手根屈筋(flexor carpi ulnaris: 以下 FCU), 円回内筋(pronator teres: 以下 PT), 長橈側手根伸筋(extensor carpi radialis longus: 以下 ECR), 浅指屈筋(flexor digitorum superficialis: 以下 FDS)とし、全て投球側へ電極を貼付した。また投球における体幹および肩周囲筋の筋活動測定のために、外腹斜筋(external oblique: 以下 EO)、内腹斜筋(internal oblique: 以下 IO)、腰部脊柱起立筋(erector spinae: 以下 LES)は両側へ、三角筋前部(anterior deltoid: 以下 AD), 大胸筋(pectoralis major: 以下 PM), 僧帽筋下部(lower trapezius: 以下 LT), 広背筋(latissimus dorsi: LD), 上腕二頭筋長頭(biceps brachii: 以下 BB), 上腕三頭筋長頭(triceps brachii: 以下 TB)は投球側へ電極を貼付した(図 2)。貼付位置は Remaley ら<sup>36)</sup>, Stegeman<sup>37)</sup>および飯塚<sup>38)</sup>の貼付方法をもととし、Remaley の貼付位置の場合 FDS が表層に出てこないことを踏まえ(図 4), 下記の通りとした。



本実験における  
貼付位置

Remaley et al.  
貼付位置

図 4 FDS の超音波診断装置による検討

- F CU: 上腕骨内側上顆から豆状骨を結んだ線の近位 1/3
- P T: 上腕骨内側上顆から橈骨 1/2 を結んだ線の 2 横指遠位
- E CR: 上腕骨外側上顆から橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の中点を結んだ線の 3 横指遠位
- F DS: 上腕骨内側上顆から豆状骨を結んだ線の遠位 1/3 から橈側手根屈筋腱に垂線を結んだ交点を基準に橈側手根屈筋腱より尺側
- E O: 脘から 15cm 外側
- I O: 上前腸骨棘から 2cm 内下方
- L ES: 第 3 腰椎棘突起の 2cm 外側

- A\_D: 肩峰前縁 3 横指下方
- P\_M: 上腕骨大結節稜と胸骨中央を結んだ線の中点
- L\_T: Th8 と三角結節を結んだ線の Th8 から遠位 1/3
- L\_D: 後腋窩 3 横指下方
- B\_B: 上腕長の 1/2 かつ最大膨隆部
- T\_B: 後腋窩から肘頭を結んだ線の後腋窩から 4 横指遠位

身体表面はアルコールを用いて皮膚処理を行い、皮膚処理後に FCU, PT, ECR, AD, PM, LT, LD, TB にはデータロガー兼乾式電極(DL-510, S&ME 社製), FDS, BB, 左右 EO, 左右 IO, 左右 LES には湿式電極(Blue Sensor N 00 S, メツツ社製)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電極やデータロガーがはがれることを抑えるため、データロガーおよび電極の上からキネシオロジーテープを貼り計測を行った。

### (3) 最大随意等尺性収縮

投球動作時の筋活動量を正規化するために、徒手抵抗による対象者の最大等尺性随意収縮(MVIC: Maximum Voluntary Isometric Contraction)時の筋活動を5秒間計測した。MVICにおける対象者の姿位と負荷とする力の方向は下記の通りとした。

- F C U: 対象者は座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度になるように台座へ肘部を置き、前腕回外位、手関節の最大尺屈および最大掌屈位を保持し、検者は手関節背屈方向へ力を加えた。この時口頭にて、「小指および環指から握りこむように保持してください」と指示を行ったうえで実施した。
- P T: 対象者は座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度になるように台座へ肘部を置き、前腕回内位を保持し、検者は前腕回外方向へ力を加えた。
- E C R: 対象者は座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度になるように台座へ肘部を置き、前腕回内、手関節背屈位を保持し、検者は手関節掌屈方向に力を加えた。
- F D S: 対象者は座位にて、肩関節屈曲90度、肘関節屈曲90度になるように台座へ肘部を置き、前腕外転、手関節掌屈位、示指から小指の4指のMP関節およびPIP関節屈曲90度を保持し、検者は手指伸展方向に力を加えた。
- E O: 対象者は膝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、検者は反対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。

- I\_O: 対象者は膝屈曲位の仰臥位にて、上肢を胸部の前で組んだ状態で、貼付した電極の同側へ回旋させながら屈曲位を保持し、検者は反対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。
- L\_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、検者は体幹部屈曲方向へ力を加えた。この時、別の検者が下腿部を抑え、力発揮時に下肢が持ち上がらないようにした。
- A\_D: 対象者は座位にて、肩関節屈曲 90 度、肘関節屈曲 90 度位を保持し、検者は肩関節伸展方向に力を加えた。
- P\_M: 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、検者は上腕へ肩関節水平伸展方向に力を加えた。
- L\_T: 対象者は伏臥位にて、肩関節外転 150 度、肘最大伸展、肩甲骨内転位を保持し、検者は上腕に対して肩関節伸展方向へ力を加えた。
- L\_D: 対象者は伏臥位にて、肩関節軽度外転および軽度伸展位を保持し、検者は肩関節内転および屈曲方向に力を加えた。
- B\_B: 対象者は座位にて、肩関節屈曲 90 度、肘関節屈曲 90 度位を保持し、検者は肘関節伸展方向に力を加えた。
- T\_B: 対象者は伏臥位にて、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、検者は肘関節屈曲方向に力を加えた。

#### ・ 2-2-3) 球速の計測

球速は、スピードガン(BSG-1 Basic, ユピテル社製)を用いて計測した。スピードガンは対象者の2m後方に設置し(図2), 全ての投球において計測した。

#### ・ 2-3) 実験手順

初めに, 筋活動計測のため電極を貼付し, MVIC時の筋活動計測を行った。その後, 赤外線反射マーカーを貼付し, 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た。十分なウォーミングアップ後, ボールの性状および重量の異なるボール, 滑りやすさを増加させた条件にて全力投球を行った。投球試技の条件は, 日本野球機構公式試合球(NPB統一試合球 オーセンティックボール, MIZUNO社製:NPB球), Major League Baseball公式試合球(MLB公式試合球, Rawlings社製:MLB球), 3oz(85.0g)球および7oz(198.4g)球(Driveline Leather Weighted Baseballs, Driveline社製)の各ボールを用いた条件に, NPB球を用いて手を濡らした条件(WET条件)を加え, 計5条件とした。

投球試技は条件ごとに10球ずつ投球し, 疲労を考慮して条件間ごとに10分の休息を取った。実施順は, 最初にNPB球試技とMLB球試技の2条件をランダムに実施し, その後3oz試技, 7oz試技, WET条件試技の3条件をランダムに実施した。

全試技の終了後, NPB球とMLB球および全条件間の投球時における主観的な差を調査するアンケートを行った。調査項目は好み, 滑りやすさ, 重さ, 球速, 制球の5項目についてとし, どの項目に

どの条件がより(最も)当てはまるかの回答を得た。各項目の設問は以下の通りとした。

- 好み: 投球時、より(最も)投げやすいと感じたボール
- 滑りやすさ: 投球時、より(最も)滑りやすい、もしくは手から離れる際に恐怖心を感じたボール
- 重さ: 投球時、より(最も)重いと感じたボール
- 球速: 実際に計測した球速は気にせず、主観的により(最も)球速を出しやすいと感じたボール
- 制球: 投球時、設置した的の中央により(最も)制球がしやすいと感じたボール

- 2-4) データ解析

- 2-4-1) 解析試技

各条件で計測した 10 回の試技内において、各条件内の慣れおよび、疲労の影響を排除するため、1 球目と 10 球目の試技は解析試技から除外した。その上で、各条件における最大球速から 3 試技の平均値を各被験者の代表値として解析した。

- 2-4-2) Phase 分け

投球動作は動作開始から動作終了までを Wind-up, Early cocking, Late cocking, Acceleration, Deceleration, Follow through の 6phase に分けた<sup>14)21)</sup>.

Wind-up は動作開始から膝最大挙上位(Maximum Knee Elevation: 以下 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 NDK の Z 座標の値が最大になる(膝の位置が最も高くなる)タイミングとした。Early Cocking は MKE から足部接地(Foot Contact: 以下 FC)までとし、FC は MKE 以後の NDF の三軸方向の合成速度が 1.5m/s 以下になるタイミングとした<sup>39)</sup>。Late Cocking は FC から肩が最大外旋(Maximum External Rotation: 以下 MER)するまでとした。Acceleration は MER からボールリリース(Ball Release: 以下 BR)までとし、BR は同期した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。Deceleration は BR から肩が最大内旋(Maximum Internal Rotation: 以下 MIR)するまでとした。MIR から動作終了までを Follow Through とし、動作終了はハイスピードカメラの映像より、MIR 以後に投球側の手部の移動が後方から前方へ切り替わるタイミングとした<sup>40)</sup>。短い時間における高速な投球動作において解析区間を主観的な開始と終了にしないため、Sabick<sup>41)</sup>先行研究に則り MKE から MIR までを解析区間とした。

また、本研究では負荷の最も加わるタイミングや Phase の切り替わりの筋活動を解析するために MER 直前、MER 前後、BR 前後の 3phases を新たに定めた。MER の 20 msec 前から MER までを MER 直前、Late Cocking の後半から MER を挟んで Acceleration の前半ま

でを MER 前後, BR から前後 10msec 間を BR 前後とした。MER 直前は Late Cocking における肘関節の大きな内反トルクが生じる区間, MER 前後は Late Cocking と Acceleration における肘関節の大きな内反トルクが生じる区間, BR 前後は掌屈角速度における 2 峰性の極大値が来る区間であるため設定した(図 5)。

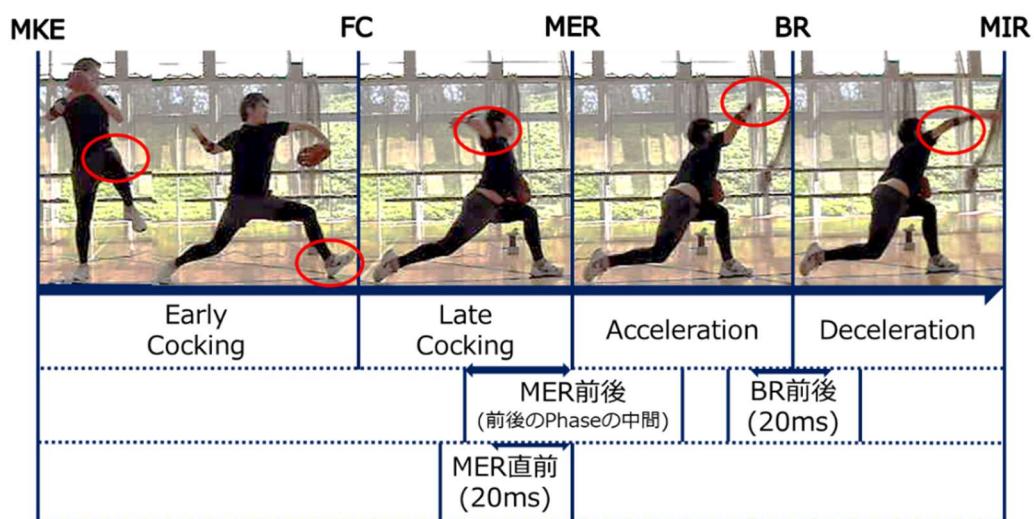


図 5 Phase 分け

#### ・ 2-4-3) 角度および角速度の算出

角度および角速度の算出は Matlab(Matlab R2019a, MathWorks 社製)を用いて行った。全 39 個の座標データを第 4 次 Butterworth 型の low pass filter(カットオフ値=13.4Hz)にて平滑化を行い<sup>39)</sup>, 肩関節, 肘関節および前腕部, 手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的位置を Z 軸, Y 軸, X 軸の順で回転させ, オイラー角で算出した。肩関節の角度は体幹座標系に対する上腕座標系, 肘関節および前腕部の

角度は上腕座標系に対する前腕座標系，手関節の角度は前腕座標系に対する手部座標系とした。肩関節における Z 軸回転は肩関節の水平内転/水平外転，Y 軸回転は肩関節の内転/外転，X 軸回転は肩関節の内旋/外旋を示す。肘関節および前腕部における Z 軸回転は肘の屈曲/伸展，Y 軸回転は肘の内反/外反，X 軸は前腕部の回内/回外を示す。手関節における Z 軸回転は手関節の尺屈/橈屈，Y 軸は手部の掌屈/背屈を示す。手関節は解剖学的にわずかな回旋運動しか生じないため考慮しない。

時刻  $i$  における近位座標系  $\vec{A}_i$  に対する遠位座標系  $\vec{A}'$  の相対的位置から算出した各関節角度の値を  $ang(x,y,z)$  とし，各角速度 ( $\omega_i$ ) は以下の式から求めた。

$$\begin{bmatrix} \omega'_\alpha \\ \omega'_\beta \\ \omega'_r \end{bmatrix} = \frac{ang_{i+1} - ang_{i-1}}{2\delta t}$$

$$\vec{\omega}'_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega'_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \omega'_\beta \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega'_\alpha \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\vec{\omega}_i = \vec{A}\vec{\omega}_i$$

算出した投球動作時の各関節の挙動から静止立位姿勢(図 3)のアライメントの差を取ることで標準化を行った。また，標準化したデータから各関節の挙動における角度と角速度の最大値を算出した。

さらに，算出した各角度および各速度のデータより，MKE，FC，MER，MIR，BR，MIR 時の各角度および角速度を算出した。

- 2-4-4) 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。動作によって生じるアーチファクトを取り除くため、Finite Impulse Response 型の band pass filter にてカットオフ値を 20-450Hz に設定し、平滑化を行った。投球動作中の各筋のデータは MVIC 試技中における 1 秒間の平均二乗平方根(RMS: Root Mean Square)の最大値で除し正規化した。次に正規化した投球動作中の値より、前腕筋は各期の RMS 値を算出し、各期の筋活動量(%MVIC)とした。

#### ・ 2-5) 筋活動における外れ値の処理

投球時におけるアーチファクトの影響から異常に高い筋活動量を示す場合があったため、各筋の各条件の Phase ごとに外れ値の処理を行った。四分位範囲（IQR）を用いて第三四分位数と IQR を足して 1.5 倍した値より大きい値と第一四分位数から IQR を減じ 1.5 倍した値より小さい数値を外れ値として規定した。各フェーズにおいて外れ値を検出した場合、その筋のそのフェーズの値のみを除外し、その他のフェーズの値は採用したまま統計処理を行なった。

#### ・ 2-6) 統計処理

統計処理には SPSS (SPSS Statistics 25.0、IBM 社製) を使用し、投球時の前腕筋の活動様式を明らかにするため、NPB 球における前腕筋の筋活動量において Phase を要因とした反復測定分散分析を用いて比較した。

次に、条件の違いによる筋活動への影響を比較するため、下記の条件間で球速、各 Phase における各前腕筋の % MVIC、各タイミングにおける各部位の角度および角速度を比較した。

- ① NPB 球と MLB 球
  - ② NPB 球(DRY 条件)と WET 条件
  - ③ 3oz, NPB 球(5oz), 7oz
- ①②においては対応のない t 検定用い、③においては重さを要因とした一元配置分散分析を行い、下位検定には Tukey 法を用いた。有意水準は 5%とした。

### 第3節 結果

#### ・ 3-1) 各条件における球速の比較

各条件の球速を図6に示す。NPB球( $114.4 \pm 6.4 \text{ km/h}$ )とMLB球( $115.1 \pm 5.9 \text{ km/h}$ )の間において球速の差を認めなかつた( $p=0.389$ )。DRY条件( $114.0 \pm 6.4 \text{ km/h}$ )はWET条件( $110.3 \pm 6.4 \text{ km/h}$ )に対して有意に速い球速を示した( $p=0.004$ )。重量の異なるボールにおいて、球速に重さによる主効果を認めた( $p<0.001$ )。下位検定の結果、3oz球( $119.9 \pm 8.7 \text{ km/h}$ )は5oz球( $114.0 \pm 0.4 \text{ km/h}$ ,  $p<0.001$ )および7oz球に対し有意に速い球速の差を認めた( $109.0 \pm 6.6 \text{ km/h}$ ,  $p<0.001$ )。また、5oz( $114.0 \pm 0.4 \text{ km/h}$ )は7oz( $109.0 \pm 6.6 \text{ km/h}$ )に対して有意に速い球速を示した( $p=0.002$ )。

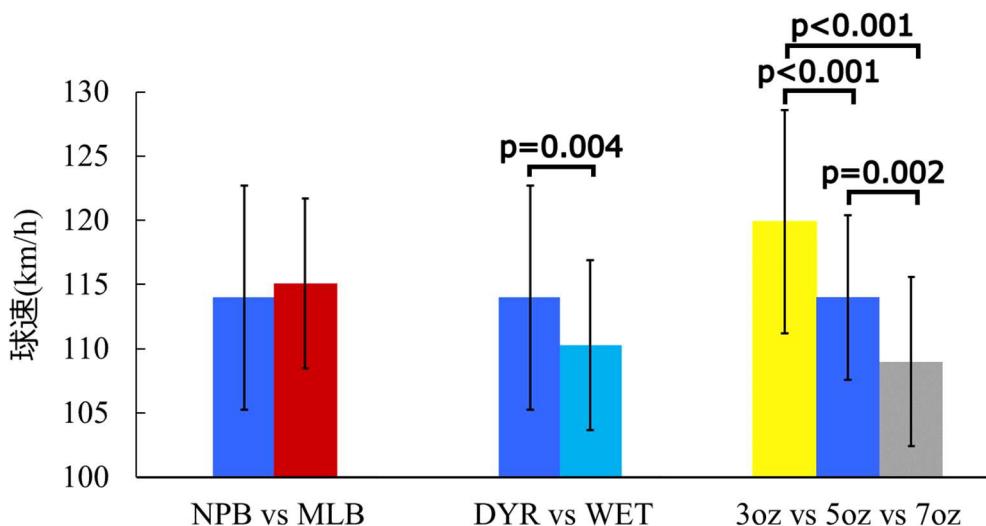


図6 各条件における球速の比較

### ・ 3-2) 投球時の筋活動

NPB球投球時における体幹および上肢の筋活動の代表例を図7に示す。

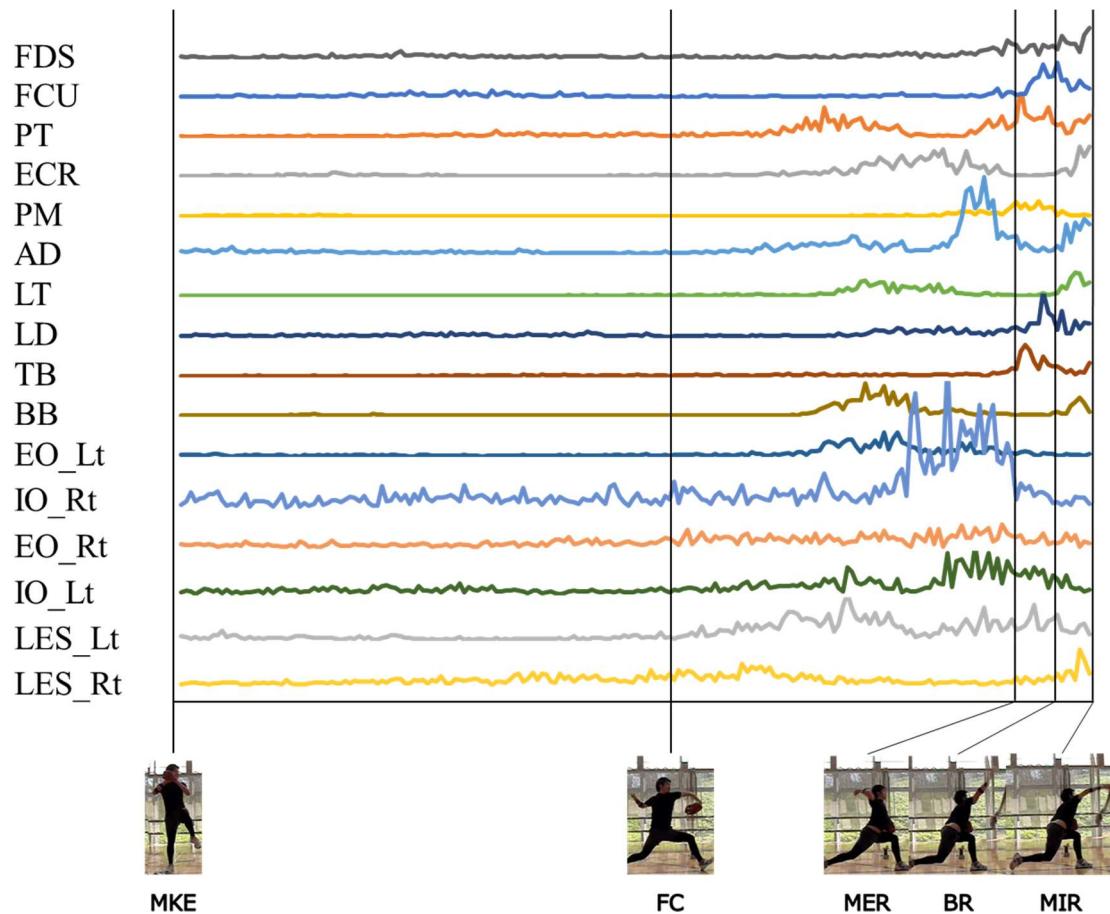


図 7 NPB 球投球時における体幹および上肢の筋活動の代表例

左右 LES は FC 以降から直後に活動が高まる波形を呈した。両側の EO および IO は FC から MER にかけて漸進的に活動が高まる波形を呈した。BB は Late cocking 中盤に活動が高まる波形を示した。TB, LD, PM, FCU は MER から BR にかけて活動が高まる波形を示した。LT, ECR, PT, FDS は BR から MIR にかけて活動が高まる波形を呈した。ECR は Late cocking と Deceleration に活動が高まる二峰性の波形を示した。

- ・ 3-3) Phase 間における前腕筋群の筋活動比較

- ・ 3-3-1) Phase 間における FCU の筋活動比較

NPB 球投球時における FCU の筋活動を図 8 に示す。

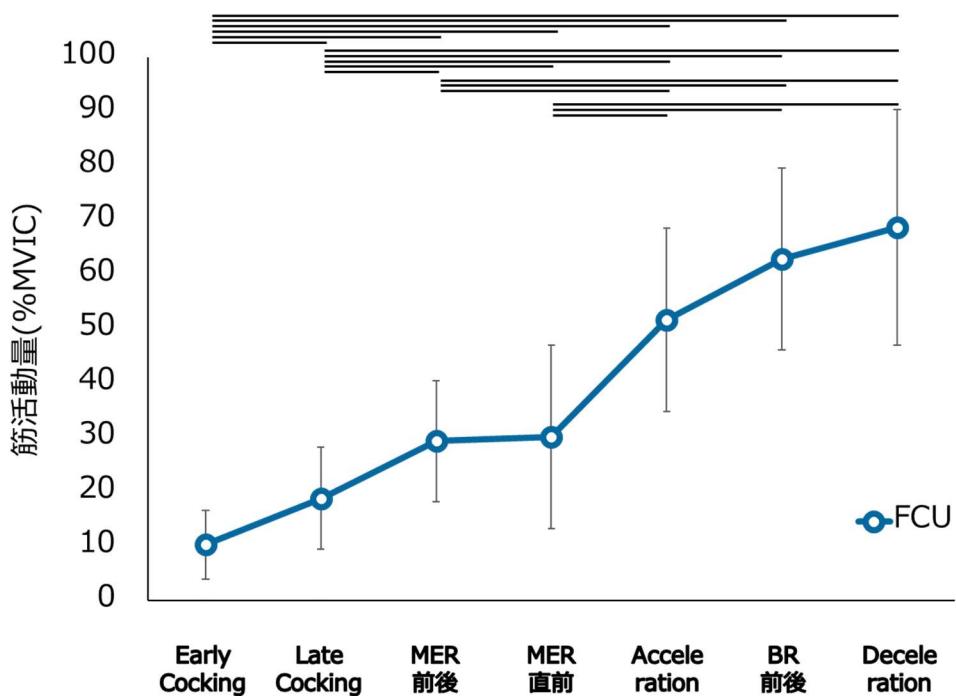


図 8 Phase 間における FCU の筋活動比較

FCU の筋活動は Phase による主効果を認めた ( $p<0.001$ )。下位検定の結果、Early Cocking に対して、Late cocking, MER 前後, MER 直前, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動量を示した (Early Cocking :  $10.3\pm6.3\%$  MVIC, Late cocking :  $18.8\pm9.4\%$  MVIC,  $p=0.020$ , MER 前後 :  $30.1\pm16.9\%$  MVIC,  $p<0.001$ , MER 直前 :  $29.4\pm11.2\%$  MVIC,  $p=0.002$ , Acceleration :  $51.7\pm16.9\%$  MVIC,  $p<0.001$ , BR 前後 :  $62.9\pm16.7\%$  MVIC,  $p<0.001$ , Deceleration :  $68.8\pm21.7\%$  MVIC,  $p<0.001$ )。Late Cocking に対して、MER 前後, MER 直前, Acceleration,

BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動量を示した(MER 前後 :  $p=0.001$ , MER 直前 :  $p=0.028$ , Acceleration :  $p<0.001$ , BR 前後 :  $p<0.001$ , Deceleration :  $p<0.001$ ). MER 前後に対して, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動量を示した(Acceleration :  $p<0.001$ , BR 前後 :  $p<0.001$ , Deceleration :  $p<0.001$ ). MER 直前にに対して Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動量を示した(Acceleration :  $p=0.003$ , BR 前後 :  $p<0.001$ , Deceleration :  $p<0.001$ ).

#### ・ 3-3-2) Phase 間における PT の筋活動比較

NPB 球投球時における PT の筋活動を図 9 に示す.

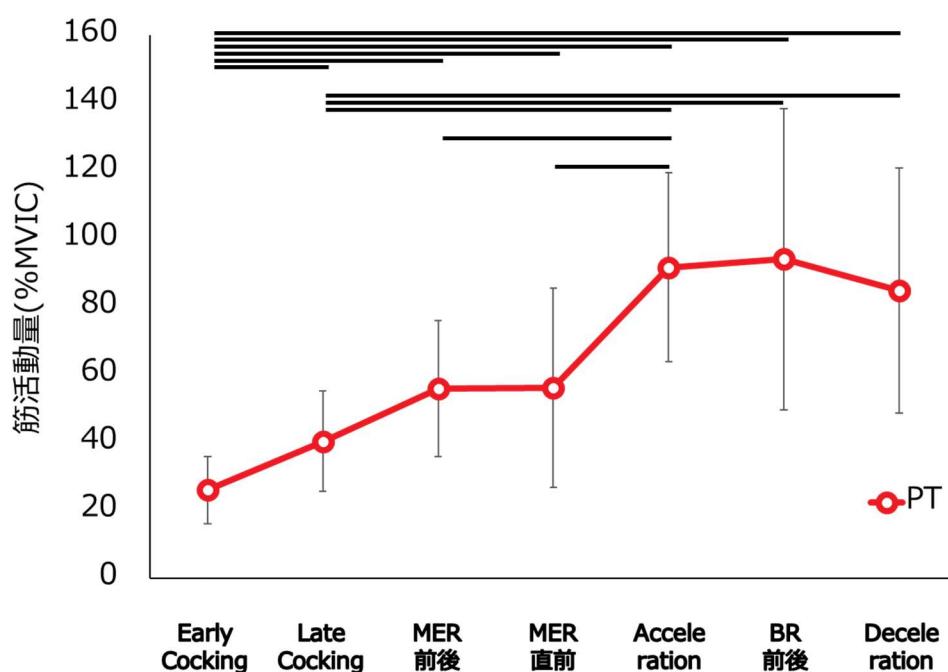


図 9 Phase 間における PT の筋活動比較

PT の筋活動は Phase による主効果を認めた( $p<0.001$ ). 下位検定の結果, Early Cocking に対して, Late cocking, MER 前後, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動量を示し,MER 直前は Early Cocking に対して筋活動量が大きい傾向を認めた(Early Cocking :  $26.0\pm9.9\%$  MVIC, Late cocking :  $40.4\pm14.7\%$  MVIC,  $p=0.029$ , MER 前後 :  $56.1\pm29.3\%$  MVIC,  $p=0.005$ , MER 直前 :  $55.8\pm20.0\%$  MVIC,  $p=0.053$ , Acceleration :  $91.7\pm27.8\%$  MVIC,  $p<0.001$ , BR 前後 :  $94.0\pm44.3\%$  MVIC,  $p=0.003$ , Deceleration :  $84.7\pm36.1\%$  MVIC,  $p<0.002$ ). Late Cocking に対して, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動量を示した(Acceleration :  $p=0.001$ , BR 前後 :  $p=0.030$ , Deceleration :  $p=0.022$ ). MER 前後に対して, Acceleration が有意に大きい筋活動量を示した(Acceleration :  $p=0.002$ ). MER 直前にに対して, Acceleration が有意に大きい筋活動量を示した(Acceleration :  $p=0.036$ ).

・ 3-3-3) Phase 間における FDS の筋活動比較

NPB 球投球時における FDS の筋活動を図 10 に示す。

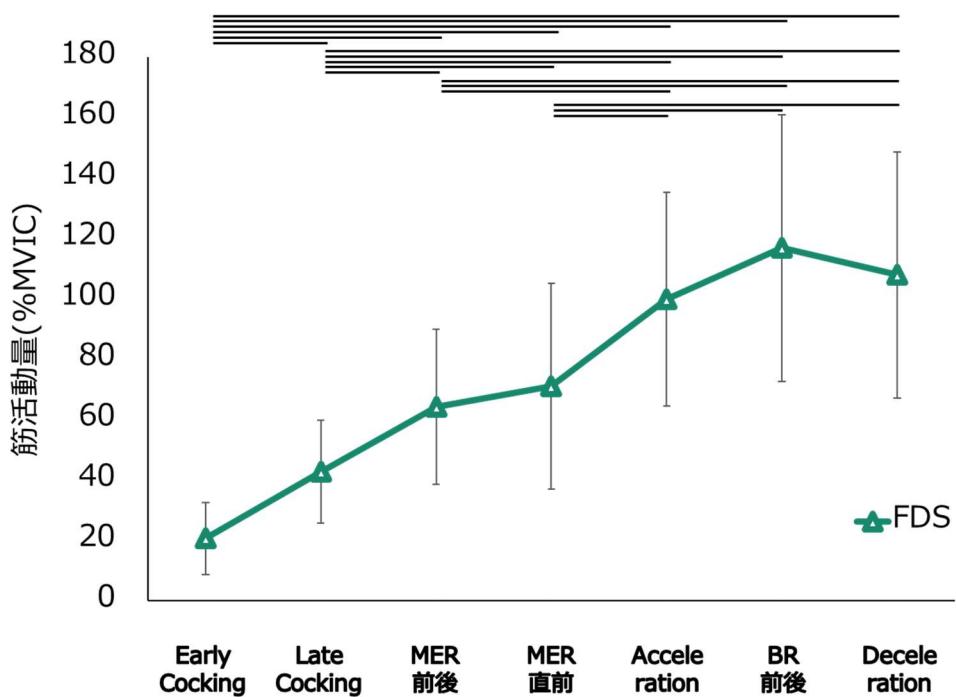


図 10 Phase 間における FDS の筋活動比較

FDS の筋活動は Phase による主効果を認めた ( $p<0.001$ )。下位検定の結果、Early Cocking に対して、Late cocking, MER 前後, MER 直前, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動を示した (Early Cocking :  $20.6 \pm 11.8\% \text{ MVIC}$ , Late cocking :  $42.7 \pm 17.1\% \text{ MVIC}$ ,  $p=0.004$ , MER 前後 :  $71.1 \pm 34.1\% \text{ MVIC}$ ,  $p<0.001$ , MER 直前 :  $64.3 \pm 25.6\% \text{ MVIC}$ ,  $p=0.002$ , Acceleration :  $99.9 \pm 35.3\% \text{ MVIC}$ ,  $p<0.001$ , BR 前後 :  $116.8 \pm 44.1\% \text{ MVIC}$ ,  $p<0.001$ , Deceleration :  $107.8 \pm 40.7\% \text{ MVIC}$ ,  $p<0.001$ )。Late Cocking に対して、MER 前後, MER 直前, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい活動を示した

(MER 前後 :  $p=0.0012$ , MER 直前 :  $p=0.006$ , Acceleration :  $p<0.001$ , BR 前後 :  $p<0.001$ , Deceleration :  $p<0.001$ ). MER 前後に対して, Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい活動を示した (Acceleration :  $p<0.001$ , BR 前後 :  $p<0.001$ , Deceleration :  $p<0.001$ ). MER 直前に対して Acceleration, BR 前後, Deceleration が有意に大きい活動を示した (Acceleration :  $p=0.001$ , BR 前後 :  $p=0.002$ , Deceleration :  $p=0.032$ ).

#### ・ 3-3-4) Phase 間における ECR の筋活動比較

NPB 球投球時における ECR の筋活動を図 11 に示す.

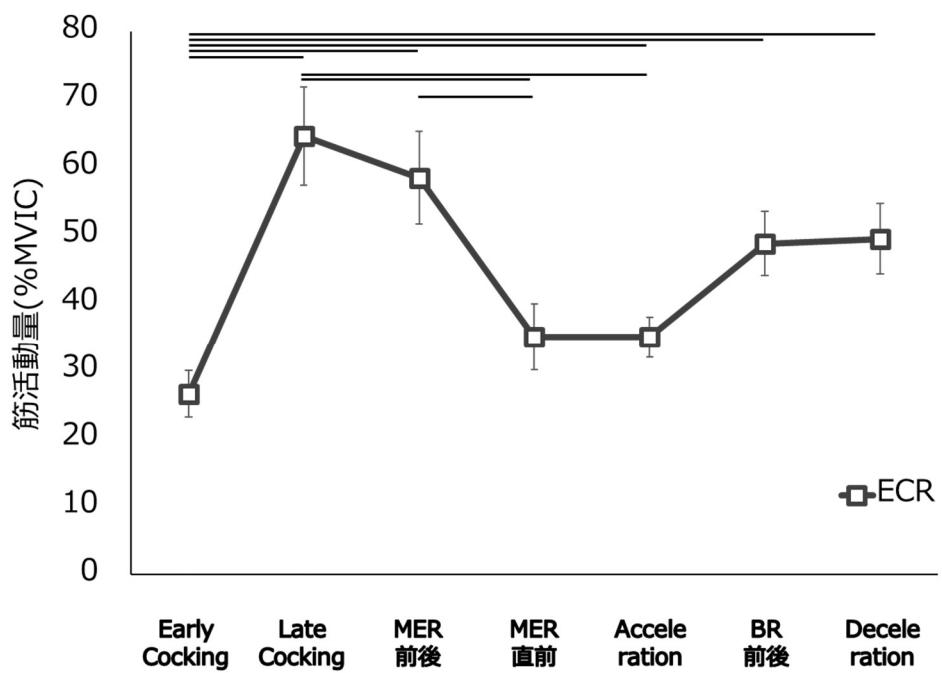


図 11 Phase 間における ECR の筋活動比較

ECR の筋活動は Phase による主効果を認めた ( $p<0.001$ ). 下位検定の結果, Early Cocking に対して, Late cocking, MER 前後, BR 前後, Deceleration が有意に大きい筋活動を示し, Acceleration は Early Cocking に対して筋活動量が大きい傾向を示した (Early Cocking :  $26.6 \pm 3.4\%$  MVIC, Late cocking :  $64.7 \pm 7.2\%$  MVIC,  $p=0.009$ , MER 前後 :  $35.1 \pm 4.9\%$  MVIC,  $p=0.028$ , Acceleration :  $35.0 \pm 2.9\%$  MVIC,  $p=0.080$ , BR 前後 :  $48.9 \pm 4.7\%$  MVIC,  $p=0.002$ , Deceleration :  $49.5 \pm 5.2\%$  MVIC,  $p=0.014$ ). Late Cocking に対して, MER 直前, Acceleration, が有意に小さい筋活動量を示した (MER 直前 :  $p=0.030$ , Acceleration :  $p=0.020$ ). MER 前後に対して, MER 直前の筋活動量が小さい傾向を示した (MER 直前 :  $58.5 \pm 6.8\%$  MVIC,  $p=0.067$ ).

・ 3-4) 条件間における前腕筋群の筋活動比較

・ 3-4-1) NPB 球と MLB 球間における前腕筋群の筋活動比較

NPB 球と MLB 球間の各 Phase における前腕筋群の筋活動量を図 12 と図 13 に示す。

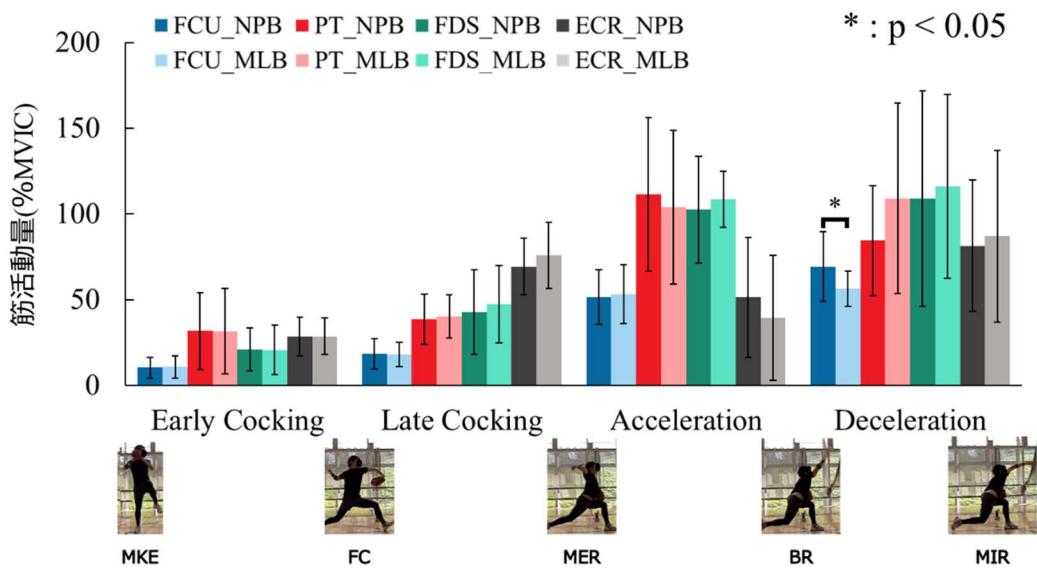


図 12 NPB 球と MLB 球間における前腕筋群の筋活動比較

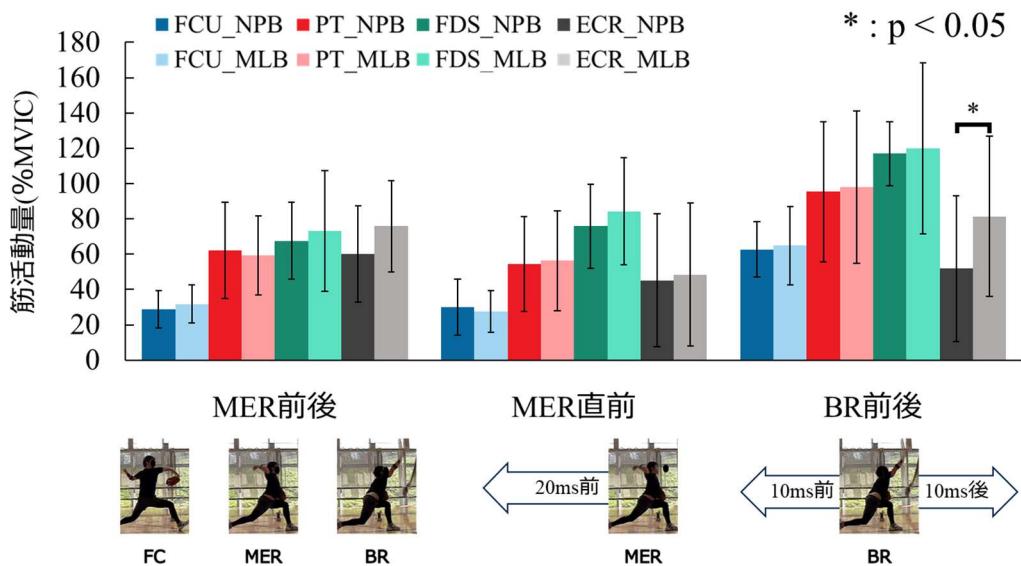


図 13 NPB 球と MLB 球間の MER・BR 周囲の Phase における前腕筋群の筋活動比較

FCU の Deceleration において NPB 球( $69.3 \pm 20.5\%$ MVIC)に対して MLB 球( $56.4 \pm 10.2\%$ MVIC)が有意に小さい筋活動量を示した( $p=0.046$ )。また、ECR の BR 前後において、MLB 球( $81.4 \pm 48.4\%$ MVIC)が NPB 球( $51.8 \pm 18.1\%$ MVIC)に対して有意に大きい筋活動量を示した( $p=0.041$ )。他の Phase および筋活動に有意な差を認めなかった。

#### ・ 3-4-2) DRY 条件と WET 条件間における前腕筋群の筋活動比較

DRY 条件と WET 条件間の各 Phase における前腕筋群の筋活動量を図 10 と図 11 に示す。

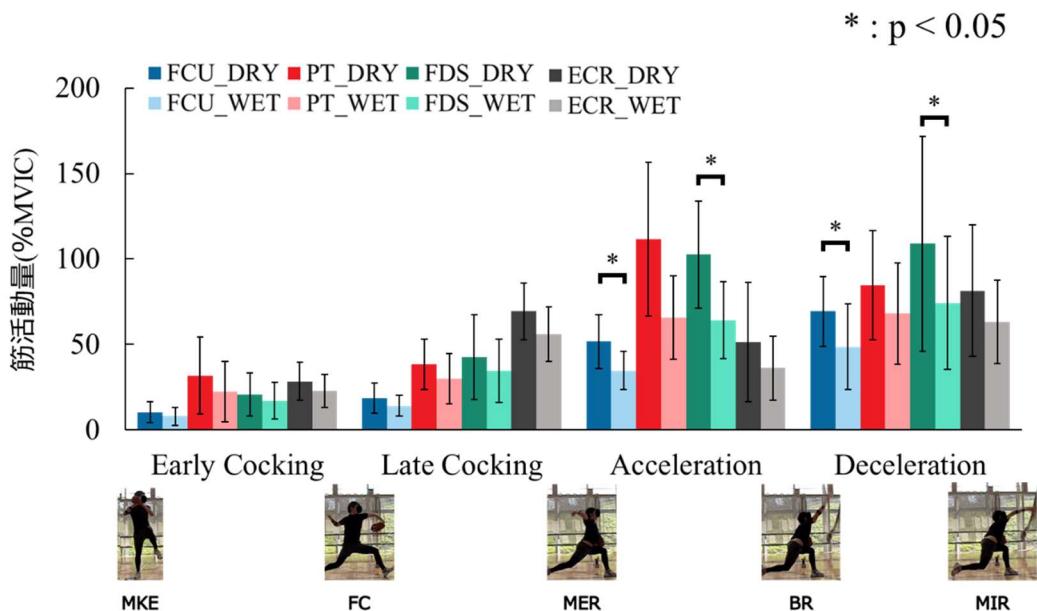


図 14 DRY 条件と WET 条件間における前腕筋群の筋活動比較

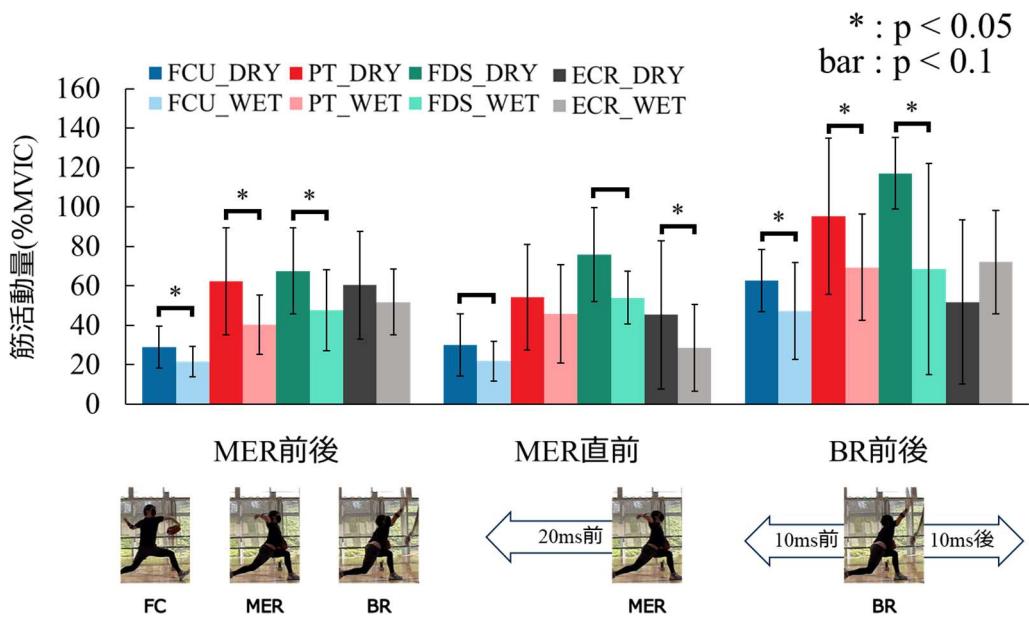


図 15 DRY 条件と WET 条件間の MER・BR 周囲の Phase における  
前腕筋群の筋活動比較

FCU, PT, FDS の全 Phase および ECR の BR 前後を除いた Phase において、全体的に DRY 条件が WET 条件に対して大きい活動量であった。ECR の BR 前後のみ、WET 条件が DRY 条件に対して大きい活動量を示した。

FCU の Acceleration, Deceleration, MER 前後, BR 前後において DRY 条件 (Acceleration:  $51.7 \pm 15.9\%$ MVIC, Deceleration:  $69.3 \pm 20.5\%$ MVIC, MER 前後:  $28.9 \pm 10.7\%$ MVIC, BR 前後:  $62.7 \pm 15.7\%$ MVIC) が WET 条件 (Acceleration:  $34.7 \pm 11.1\%$ MVIC, Deceleration:  $48.7 \pm 25\%$ MVIC, MER 前後:  $21.7 \pm 7.6\%$ MVIC, BR 前後:  $47.2 \pm 24.7\%$ MVIC) に対して有意に大きい筋活動量を示した (Acceleration:  $p=0.001$ , Deceleration:  $p=0.015$ , MER 前後:  $p=0.036$ , BR 前後:  $p=0.042$ )。また、MER 直前ににおいて DRY 条件 ( $30.0 \pm 15.9\%$ MVIC) が WET 条件 ( $21.8 \pm 10.0\%$ MVIC) に対して大きい活動量の傾向を認めた ( $p=0.090$ )。

PT の Acceleration, MER 前後において DRY 条件(Acceleration:  $111.4 \pm 45.0\%$ MVIC, MER 前後 :  $95.4 \pm 39.6\%$ MVIC)が WET 条件(Acceleration:  $65.9 \pm 24.4\%$ MVIC, MER 前後  $40.2 \pm 14.9\%$ MVIC)に対して有意に大きい筋活動量を示した(Acceleration:  $p=0.002$ , MER 前後:  $p=0.012$ ). また, BR 前後において DRY 条件( $95.4 \pm 39.6\%$ MVIC)が WET 条件 ( $69.4 \pm 27.1\%$ MVIC)に対して大きい活動量の傾向を認めた( $p=0.050$ ).

ECR の MER 直前において DRY 条件( $45.3 \pm 23.8\%$ MVIC)が WET 条件 ( $28.7 \pm 13.3\%$ MVIC)に対して有意に大きい筋活動量を示した( $p=0.024$ ).

FDS の Acceleration, Deceleration, MER 前後, BR 前後において DRY 条件(Acceleration:  $102.6 \pm 34.8\%$ MVIC, Deceleration:  $108.9 \pm 38.5\%$ MVIC, MER 前後:  $67.5 \pm 27.3\%$ MVIC, BR 前後:  $117 \pm 41.5\%$ MVIC)が WET 条件(Acceleration:  $64.2 \pm 18.6\%$ MVIC, Deceleration:  $74.3 \pm 24.3\%$ MVIC, MER 前後:  $47.5 \pm 16.7\%$ MVIC, BR 前後:  $68.5 \pm 26.2\%$ MVIC)に対して有意に大きい筋活動量を示した. また, MER 直前において DRY 条件( $76.0 \pm 37.5\%$ MVIC)が WET 条件( $54.0 \pm 21.9\%$ MVIC)に対して大きい活動量の傾向を認めた( $p=0.054$ ). 他の Phase および筋活動に有意な差を認めなかった.

・ 3-4-3) 重量の違いによる前腕筋群の筋活動比較

重量の違いによる各 Phase における前腕筋群の筋活動量を図 12 と図 13 に示す。

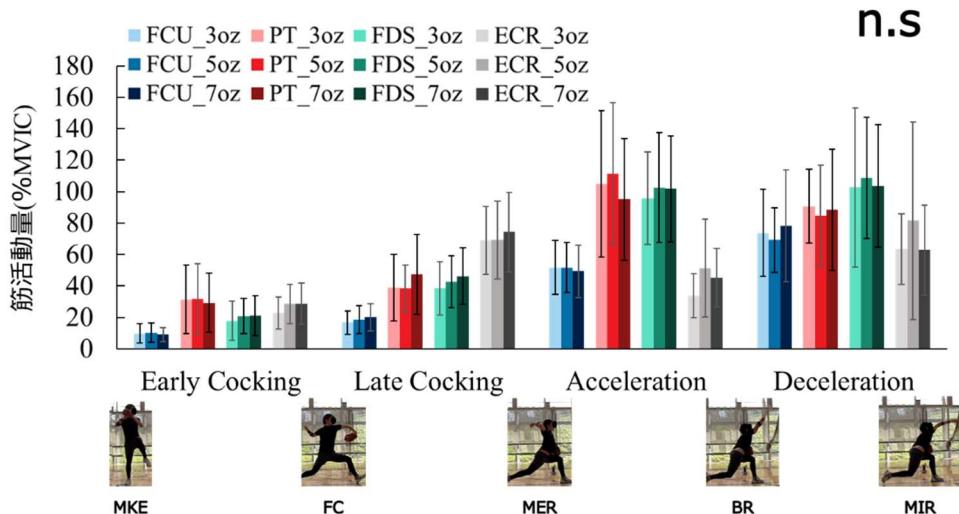


図 16 重量の異なるボール間における前腕筋群の筋活動比較

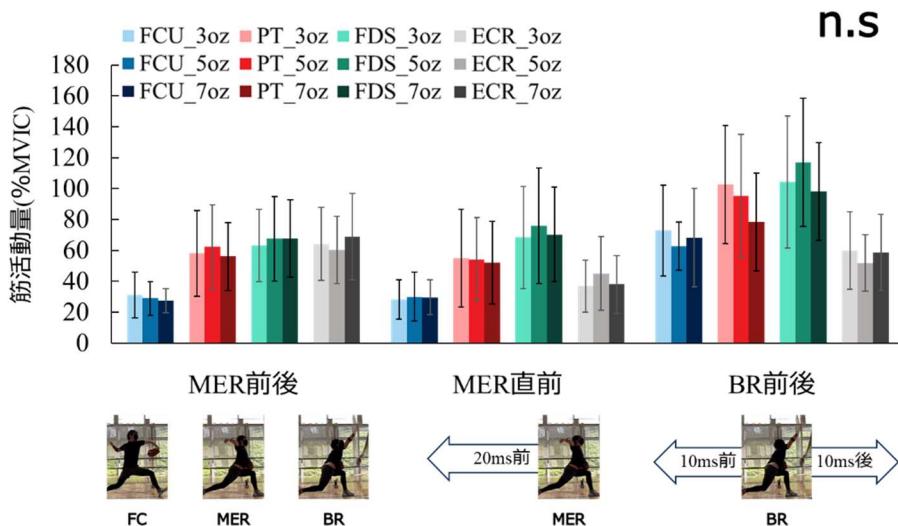


図 17 重量の異なるボール間の MER・BR 周囲の Phase における  
前腕筋群の筋活動比較

重量の異なるボールにおいて、いずれの Phase の前腕筋群においても、重さによる主効果を認めなかった。

- ・ 3-5) 投球時の各関節の角度および角速度変位
- ・ 3-4-1) 投球時の肩部における角度・角速度変位

NPB 球投球時における MKE から MIR における肩部の角度変位を図 18, 角速度の変位を図 19 に示す。

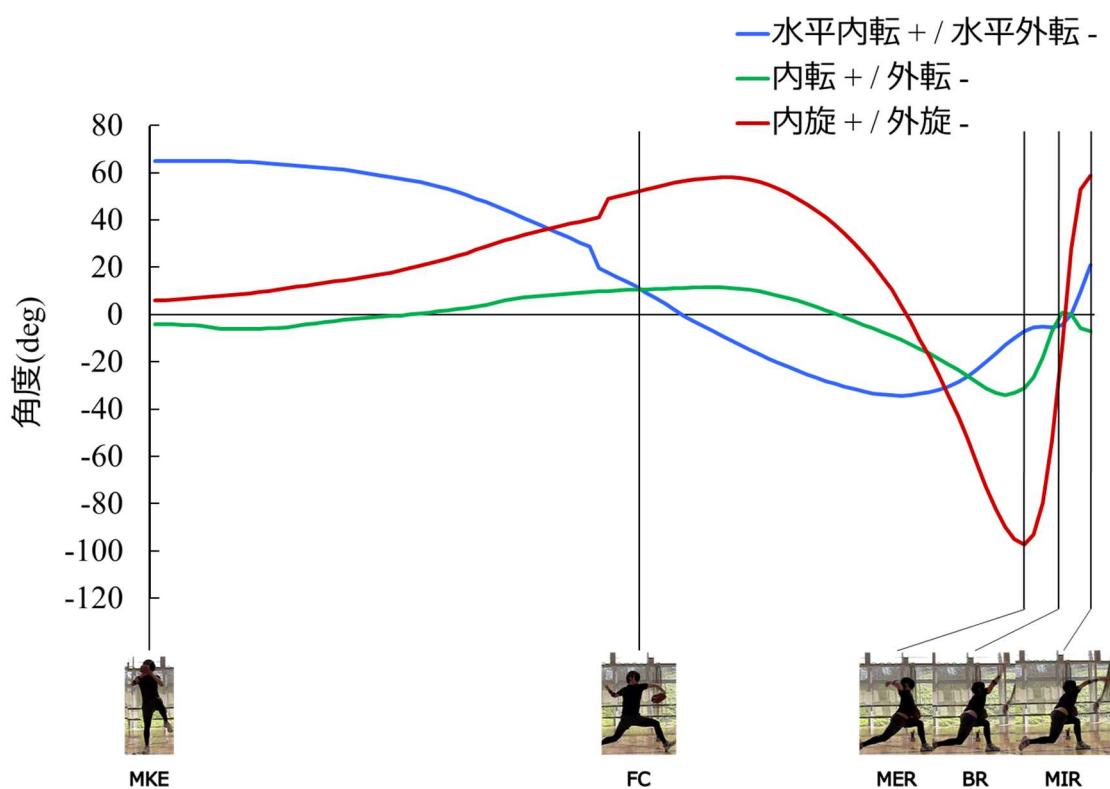


図 18 MKE から MIR における肩部の角度変位

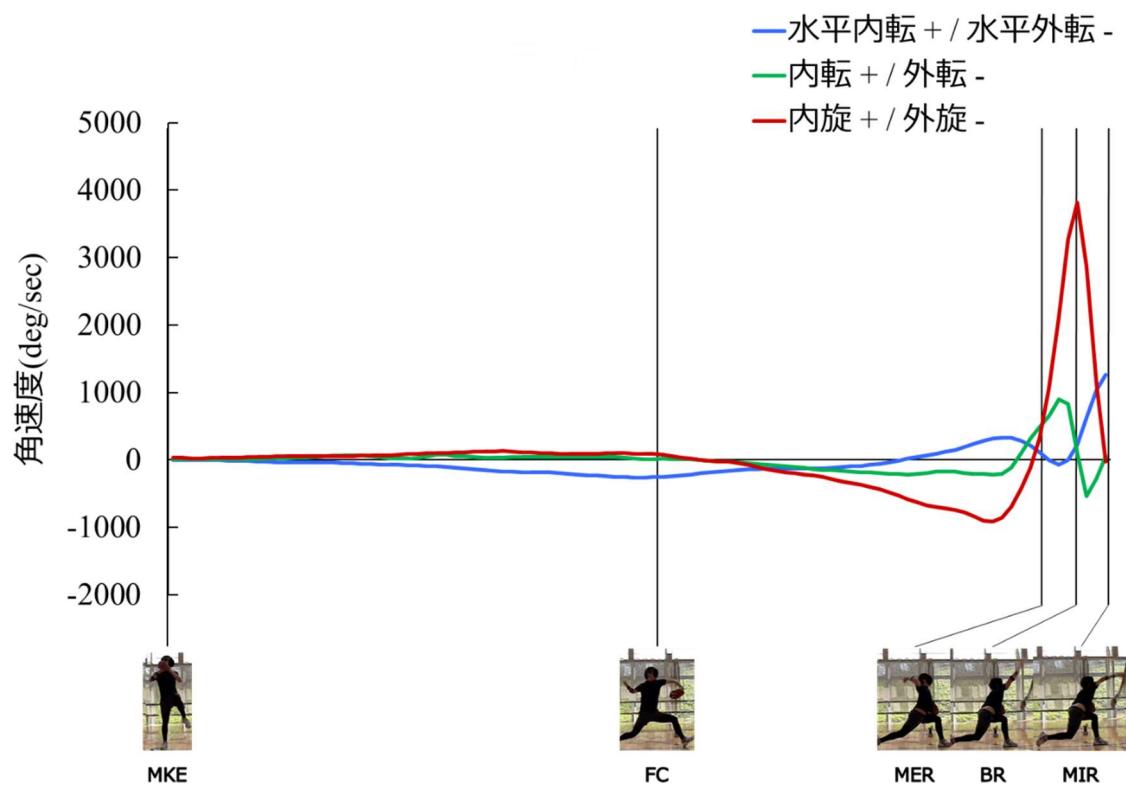


図 19 MKE から MIR における肩部の角速度変位

肩部は FC 以降から MER にかけて水平外転、外転、外旋に変位し、MER から BR にかけて水平内転および急激な内旋を示した。また、最大内旋角速度は BR 付近で生じ 4000 deg/s 近くまで増加した。

#### ・ 3-4-2) 投球時の肘部および前腕部における角度・角速度変位

NPB 球投球時における MKE から MIR における肘部および前腕部の角度変位を図 20、角速度の変位を図 21 に示す。

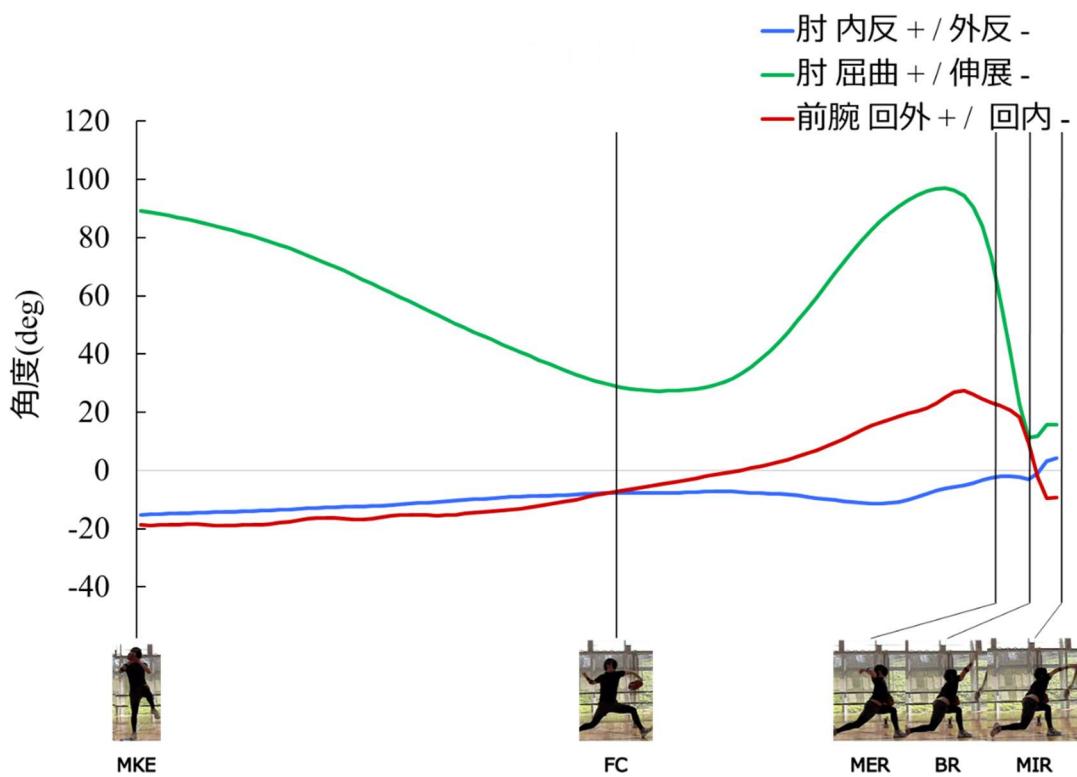


図 20 MKE から MIR における肘部および前腕部の角度変位

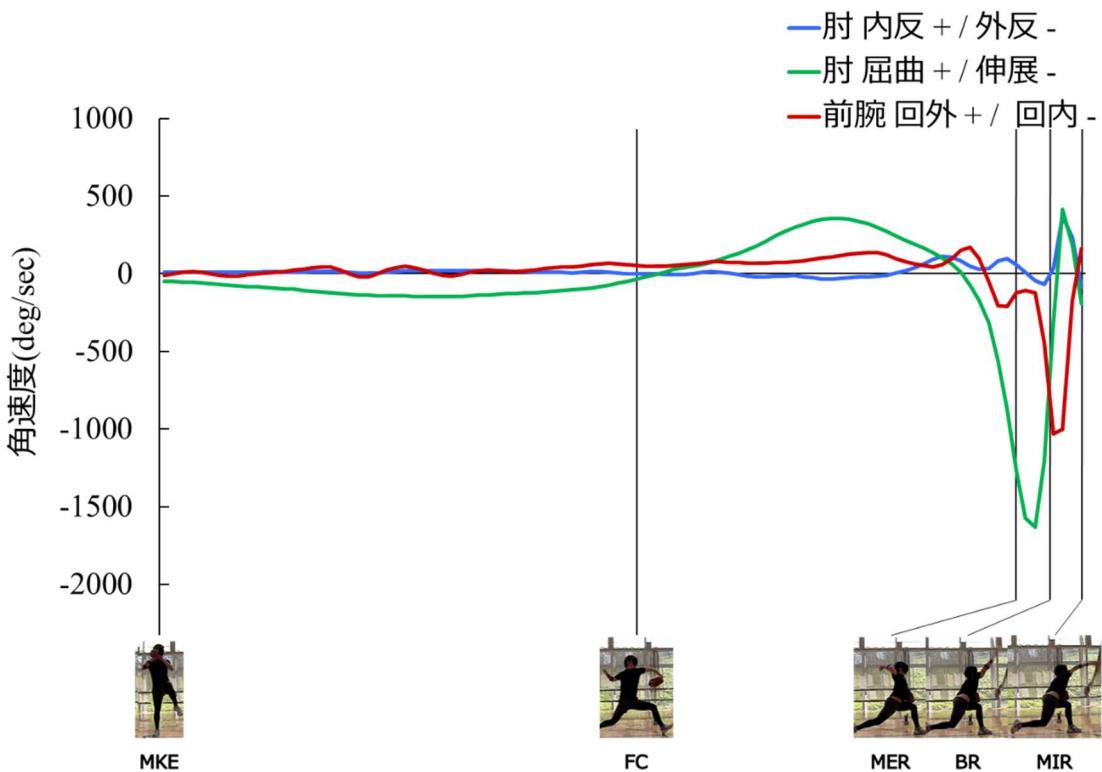


図 21 MKE から MIR における肘部および前腕部の角速度変位

肘部は FC 以降から MER の直前まで屈曲し, MER から MIR にかけて急激な伸展を示した。前腕部は FC 以降から MER の直前にかけて低速度で回外に変位し, MER から MIR にかけて急激な回内を示した。肘部の最大伸展角速度は BR 直前で生じ,  $1500\text{deg/s}$  近くまで増加した。また、前腕部の最大回内角速度は BR 直後で生じ,  $1000\text{deg/s}$  近くまで増加した。

#### ・ 3-4-3) 投球時の手部における角度・角速度変位

NPB 球投球時における MKE から MIR における手部の角度変位を図 22, 角速度の変位を図 23 に示す。

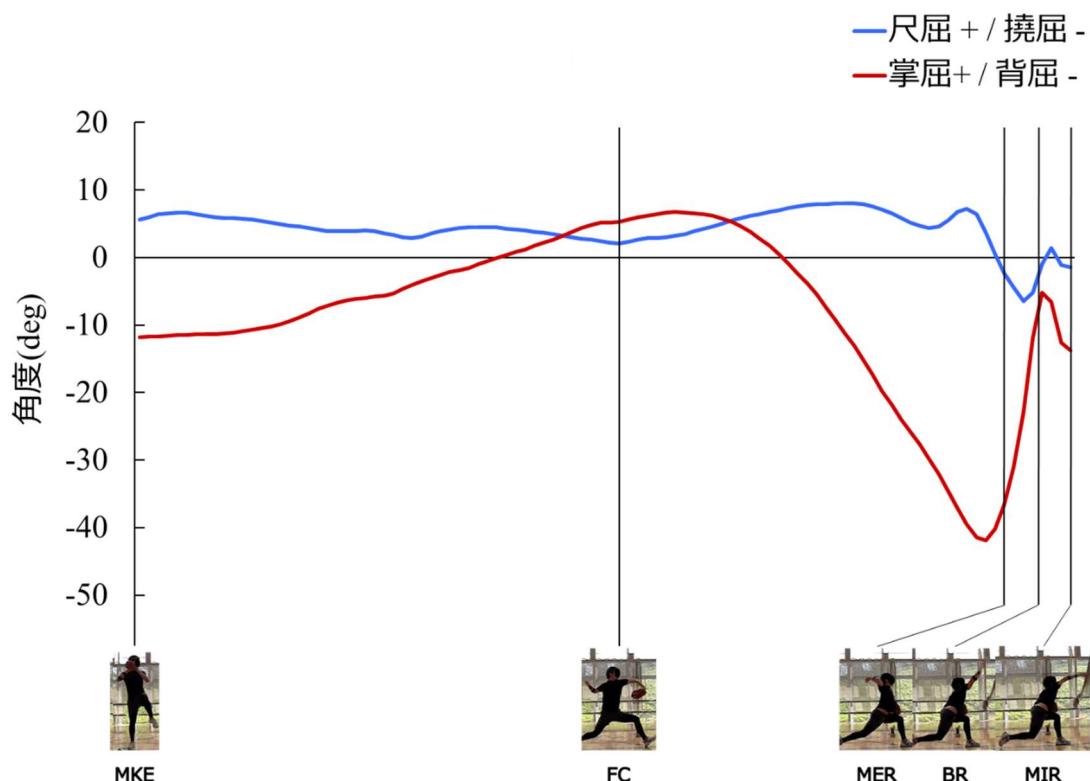


図 22 MKE から MIR における手部の角度変位

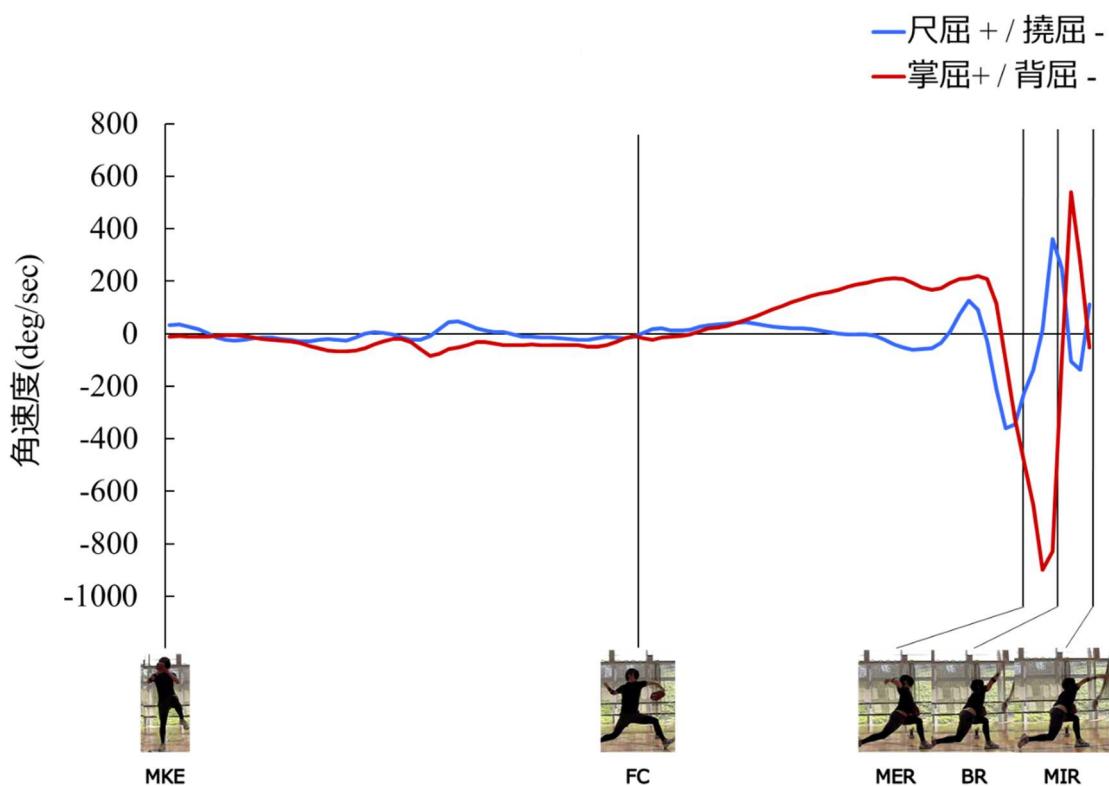


図 23 MKE から MIR における手部の角速度変位

手部は FC 以降から漸進的に背屈し、MER 前後で急激な背屈後に BR にかけて急激な掌屈を示した。また手部は MKE から MER にかけて軽度尺屈位を維持し、MER から BR にかけて急激な尺屈を示した。手部の最大背屈角速度は MER から BR 間において生じ、 $1000\text{deg/s}$  近くまで増加した、また、手部の最大掌屈角速度は BR 直後に生じ、 $600\text{deg/s}$  近くまで増加した。

・ 3-6) 各タイミング時の各関節キネマティクスの比較

・ 3-5-1) NPB球とMLB球間におけるキネマティクスの比較

NPB球とMLB球間の各タイミングにおける関節角度比較を表2, 関節角速度比較を表3に示す。

表2 NPB球とMLB球間の各タイミングにおける関節角度比較

| 角度(deg)                  | Maximum knee elevation | Foot contact | Maximum external rotation | Ball release | Maximum internal rotation |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| <b>肩関節<br/>内転/外転</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | -20.4±19.8             | -3.8±11.5    | 11.9±12.7                 | 18.1±9.1     | 16.3±8.8                  |
| MLB                      | -19.1±19.8             | -4.7±12.6    | 12.5±13.5                 | 18.7±8.4     | 17.1±8.7                  |
| <b>肩関節<br/>水平内転/水平外転</b> |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | 65.0±19.6              | -38.3±15.5   | -5.0±11.7                 | 7.1±8.8      | 21.0±8.6                  |
| MLB                      | 68.8±12.2              | -39.4±14.4   | -3.6±11.8                 | 7.3±8.7      | 21.4±8.6                  |
| <b>肩関節<br/>内旋/外旋</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | -5.6±26.9              | -23.2±32.3   | 106.6±22.3                | -48.3±14.7   | -58.6±14.0                |
| MLB                      | -1.7±22.5              | -23.4±36     | 109.6±16.8                | -48.5±14.4   | -58.4±12.8                |
| <b>肘関節<br/>内反/外反</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | -15.2±8.2              | -12.2±9.4    | -4.1±7.5                  | 2.6±5.6      | 4.2±5.5                   |
| MLB                      | -15.5±10.2             | -11.7±9.2    | -3.5±8.4                  | 2.0±5.1      | 3.4±5.1                   |
| <b>肘関節<br/>屈曲/伸展</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | 89.6±20.7              | 76.6±26.2    | 84.7±15.8                 | 15.3±10.2    | 15.7±11.1                 |
| MLB                      | 91.5±21.2              | 77.0±29.6    | 83.4±13.3                 | 15.5±10.4    | 15.6±11.4                 |
| <b>肘関節<br/>回外/回内</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | -18.6±18.2             | 9.2±31.7     | 30.5±24.9                 | -9.4±21.4    | -9.3±20.1                 |
| MLB                      | -17.0±18.6             | 11.9±34.8    | 27.0±23.3                 | -11.2±20     | -11.2±20.1                |
| <b>手関節<br/>尺屈/橈屈</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | 5.3±8.2                | 7.7±6.8      | 2.6±11.4                  | -1.1±5.9     | -1.4±6.2                  |
| MLB                      | 4.4±8.2                | 8.5±7.4      | 0.4±9.3                   | -1.9±5.5     | -2.0±6.0                  |
| <b>手関節<br/>掌屈/背屈</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB                      | -10.5±27.3             | -5.7±27.7    | -40.8±20.1                | -10.6±17.1   | -11.7±17.3                |
| MLB                      | -10.5±22.9             | -5.2±29.7    | -44.5±11.8                | -13.5±17.8   | -13.8±17.2                |

表 3 NPB 球と MLB 球間の各タイミングにおける関節角速度比較

| 角速度(deg/sec)     | Maximum knee elevation | Foot contact | Maximum external rotation | Ball release | Maximum internal rotation |
|------------------|------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| 肩関節<br>内転/外転     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | -17.7±38.3             | 78.6±96.7    | -3.3±201.3                | 39.1±246.8   | -300.0±293.1              |
| MLB              | -22.9±43.3             | 83.1±125.3   | 2.6±210.7                 | 23.5±255.3   | -308.1±281.9              |
| 肩関節<br>水平内転/水平外転 |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | -4.3±47.1              | -83.4±157.5  | 220.3±128.5               | 978.2±205.4  | 1274.6±223.0              |
| MLB              | -3.6±35.7              | -57.4±159.6  | 217.4±148.5               | 1006.3±189.9 | 1302.5±245.5              |
| 肩関節<br>内旋/外旋     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | 30.1±53.9              | -428.7±330.8 | -11.2±64.1                | 1491.6±620.1 | -30.2±93.5                |
| MLB              | 34.3±37.2              | -466.4±314.4 | -15.2±40.1                | 1439.1±611   | -23.2±84.9                |
| 肘関節<br>内反/外反     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | 7.5±24.0               | -18.6±50.6   | 135.7±168.4               | 304.8±152.7  | -84.7±159.9               |
| MLB              | 4.5±14.1               | -24.1±57.9   | 124.1±176.1               | 282.9±96.4   | -84.3±141.4               |
| 肘関節<br>屈曲/伸展     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | -49.3±68.2             | 394.2±206.2  | -1035.6±376.5             | 287±231.3    | -190.9±248.4              |
| MLB              | -43.3±68.7             | 399.6±195.1  | -1092.5±354.7             | 264±210.1    | -211.8±221.6              |
| 肘関節<br>回外/回内     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | -19.0±44.4             | 228.6±160.6  | -671.8±315.6              | -316.9±447.6 | 161.3±254.1               |
| MLB              | -13.6±51.3             | 217.0±156.4  | -680±281.4                | -294.1±340.6 | 157.2±199.1               |
| 手関節<br>尺屈/橈屈     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | 20.5±80.3              | 37.3±96.2    | -953±212.3                | -184.0±228.8 | 110.6±176.2               |
| MLB              | -3.1±32.3              | -5.5±86.8    | -1009±167.1               | -175.0±146.9 | 154.5±113.7               |
| 手関節<br>掌屈/背屈     |                        |              |                           |              |                           |
| NPB              | -5.0±105.1             | -43.9±276.9  | 250.9±253.2               | -292.5±334.0 | 60.5±285.6                |
| MLB              | 12.9±62.1              | -139.5±221.1 | 337.5±229.9               | -227.8±261.4 | 134.8±273.4               |

全ての関節について、いずれのタイミングにおいても、NPB 球と  
MLB 球間に角度および角速度に差を認めなかった。

・ 3-5-2) DRY 条件と WET 条件間におけるキネマティクスの比較

DRY 条件と WET 条件間の各タイミングにおける関節角度比較を

表 4, 関節角速度比較を表 5 に示す。

**表 4 DRY 条件と WET 条件間の各タイミングにおける関節角度比較**

| 角度(deg)                  | Maximum knee elevation | Foot contact | Maximum external rotation | Ball release | Maximum internal rotation |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| <b>肩関節<br/>内転/外転</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -20.4±19.8             | -3.8±11.5    | 11.9±12.7                 | 18.1±9.1     | 16.3±8.8                  |
| WET                      | -24.5±22.3             | -5.6±12.0    | 12.7±13.1                 | 18.9±9.2     | 16.7±9.1                  |
| <b>肩関節<br/>水平内転/水平外転</b> |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | 65±19.6                | -38.3±15.5   | -5.0±11.7                 | 7.1±8.8      | 21.0±8.6                  |
| WET                      | 63.8±16.2              | -37.8±14.2   | -0.8±12.6                 | 7.7±7.2      | 23.9±7.2                  |
| <b>肩関節<br/>内旋/外旋</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -5.6±26.9              | -23.2±32.3   | 106.6±22.3                | -48.3±14.7   | -58.6±14.0                |
| WET                      | -3.8±24.3              | -18.9±35.8   | 109.0±16.3                | -44.0±19.2   | -60.2±14.5                |
| <b>肘関節<br/>内反/外反</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -15.2±8.2              | -12.2±9.4    | -4.1±7.5                  | 2.6±5.6      | 4.2±5.5                   |
| WET                      | -14.1±10.5             | -11.6±8.9    | -3.3±8.1                  | 2.0±5.8      | 4.2±5.8                   |
| <b>肘関節<br/>屈曲/伸展</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | 89.6±20.7              | 76.6±26.2    | 84.7±15.8                 | 15.3±10.2    | 15.7±11.1                 |
| WET                      | 89.7±21.9              | 78.2±26.8    | 83.8±14.0                 | 17.2±11.0    | 17.0±11.1                 |
| <b>肘関節<br/>回外/回内</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -18.6±18.2             | 9.2±31.7     | 30.5±24.9                 | -9.4±21.4    | -9.3±20.1                 |
| WET                      | -14.4±22.2             | 13.2±34.5    | 28.0±23.3                 | -8.0±19.8    | -9.8±18.1                 |
| <b>手関節<br/>尺屈/橈屈</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | 5.3±8.2                | 7.7±6.8      | 2.6±11.4                  | -1.1±5.9     | -1.4±6.2                  |
| WET                      | 6.1±8.0                | 8.8±7.2      | 1.0±10.3                  | -0.1±7.8     | -1.2±6.5                  |
| <b>手関節<br/>掌屈/背屈</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -10.5±27.3             | -5.7±27.7    | -40.8±20.1                | -10.6±17.1   | -11.7±17.3                |
| WET                      | -9.8±22.5              | -5.8±31.5    | -44.4±12.0                | -10.1±16.5   | -10.8±17.4                |

**表 5 DRY 条件と WET 条件間の各タイミングにおける  
関節角速度比較**

| 角速度(deg/sec)             | Maximum knee elevation | Foot contact | Maximum external rotation | Ball release | Maximum internal rotation |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| <b>肩関節<br/>内転/外転</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -17.7±38.3             | 78.6±96.7    | -3.3±201.3                | 39.1±246.8   | -300.0±293.1              |
| WET                      | -29.5±55.2             | 78.6±116.4   | -3.3±200.1                | 45.9±205.1   | -349.1±264.5              |
| <b>肩関節<br/>水平内転/水平外転</b> |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -4.3±47.1              | -83.4±157.5  | 220.3±128.5               | 978.2±205.4  | 1274.6±223.0              |
| WET                      | -15.9±70.3             | -46.6±165.9  | 242.0±140.7               | 910.5±168.5  | 1284.9±230.2              |
| <b>肩関節<br/>内旋/外旋</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | 30.1±53.9              | -428.7±330.8 | -11.2±64.1                | 1491.6±620.1 | -30.2±93.5                |
| WET                      | 46.2±95.6              | -436.7±302.2 | 1.2±51.5                  | 1700.2±708.7 | -55.1±101.8               |
| <b>肘関節<br/>内反/外反</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | 7.5±24.0               | -18.6±50.6   | 135.7±168.4               | 304.8±152.7  | -84.7±159.9               |
| WET                      | 8.0±17.1               | -23.0±63.7   | 115.8±179.4               | 339.7±155.5  | -107±160.4                |
| <b>肘関節<br/>屈曲/伸展</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -49.3±68.2             | 394.2±206.2  | -1035.6±376.5             | 287±231.3    | -190.9±248.4              |
| WET                      | -56.3±66.5             | 374.8±202.4  | -1023.8±328.5             | 269.8±285.2  | -250.1±249.9              |
| <b>肘関節<br/>回外/回内</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -19.0±44.4             | 228.6±160.6  | -671.8±315.6              | -316.9±447.6 | 161.3±254.1               |
| WET                      | -5.9±40.5              | 187.7±141.2  | -613.6±255.3              | -456.6±418.6 | 111.4±270.4               |
| <b>手関節<br/>尺屈/橈屈</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | 20.5±80.3              | 37.3±96.2    | -953±212.3                | -184.0±228.8 | 110.6±176.2               |
| WET                      | 0.3±21.2               | 2.0±62.3     | -873.6±197.0              | -251.1±492.6 | 101.9±186.1               |
| <b>手関節<br/>掌屈/背屈</b>     |                        |              |                           |              |                           |
| DRY(NPB)                 | -5.0±105.1             | -43.9±276.9  | 250.9±253.2               | -292.5±334.0 | 60.5±285.6                |
| WET                      | 13.1±50.4              | -161.3±206.1 | 317.3±228.9               | -512.5±860.3 | 36.2±270.8                |

全ての関節について、いずれのタイミングにおいても、DRY 条件と WET 条件間に角度および角速度に差を認めなかった。

・ 3-5-3) ボール重量の違いによるキネマティクスの比較

重量の異なるボールの各タイミングにおける関節角度比較を表6,  
関節角速度比較を表7に示す。

**表 6 重量の異なるボール間の各タイミングにおける関節角度比較**

| 角度(deg)    | Maximum knee elevation | Foot contact | Maximum external rotation | Ball release | Maximum internal rotation |
|------------|------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| <b>肩関節</b> |                        |              |                           |              |                           |
| 内転/外転      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | -21.8±21.8             | -4.1±11.9    | 11.4±13.2                 | 17.9±9.3     | 16.1±9.6                  |
| 5oz(NPB)   | -20.4±19.8             | -3.8±11.5    | 11.9±12.7                 | 18.1±9.1     | 16.3±8.8                  |
| 7oz        | -22.6±21.2             | -5.3±11.6    | 12.4±12.5                 | 18.4±9.1     | 15.8±9.3                  |
| 肩関節        |                        |              |                           |              |                           |
| 水平内転/水平外転  |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | 69.2±13.1              | -38.2±14.4   | -2.0±12.6                 | 10.1±7.2     | 23.7±7.3                  |
| 5oz(NPB)   | 65±19.6                | -38.3±15.5   | -5.0±11.7                 | 7.1±8.8      | 21.0±8.6                  |
| 7oz        | 65.3±13.6              | -36.5±16.8   | -1.9±12.8                 | 7.1±7.2      | 22.7±7.1                  |
| 肩関節        |                        |              |                           |              |                           |
| 内旋/外旋      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | -2.2±23.6              | -21.4±34.9   | 108.1±15.9                | -50.6±14.5   | -59.7±13.6                |
| 5oz(NPB)   | -5.6±26.9              | -23.2±32.3   | 106.6±22.3                | -48.3±14.7   | -58.6±14.0                |
| 7oz        | -5.7±24.8              | -22.8±34.5   | 105.8±22.3                | -45.8±15.4   | -60.7±13.5                |
| <b>肘関節</b> |                        |              |                           |              |                           |
| 内反/外反      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | -15.1±10.8             | -12.2±8.9    | -3.6±8.4                  | 2.1±5.5      | 3.7±5.8                   |
| 5oz(NPB)   | -15.2±8.2              | -12.2±9.4    | -4.1±7.5                  | 2.6±5.6      | 4.2±5.5                   |
| 7oz        | -14.4±10.4             | -11.7±9.2    | -3.9±7.7                  | 1.9±5.5      | 4.3±5.6                   |
| 肘関節        |                        |              |                           |              |                           |
| 屈曲/伸展      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | 89.2±20.3              | 77.5±29.7    | 85.0±13.7                 | 16.9±10.5    | 16.9±11.5                 |
| 5oz(NPB)   | 89.6±20.7              | 76.6±26.2    | 84.7±15.8                 | 15.3±10.2    | 15.7±11.1                 |
| 7oz        | 88.5±20.0              | 77.4±25.1    | 84.9±16.6                 | 16.6±10.4    | 17.5±10.9                 |
| 肘関節        |                        |              |                           |              |                           |
| 回外/回内      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | -15.8±21.3             | 9.6±35.5     | 27.1±24.4                 | -12.2±22.9   | -13.3±21.6                |
| 5oz(NPB)   | -18.6±18.2             | 9.2±31.7     | 30.5±24.9                 | -9.4±21.4    | -9.3±20.1                 |
| 7oz        | -17.6±22.9             | 9.0±31.9     | 29.9±24.0                 | -9.1±21.5    | -10.5±19.5                |
| <b>手関節</b> |                        |              |                           |              |                           |
| 尺屈/橈屈      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | 5.0±7.9                | 8.3±6.9      | 0.3±10.7                  | -0.6±6.6     | -1.2±6.6                  |
| 5oz(NPB)   | 5.3±8.2                | 7.7±6.8      | 2.6±11.4                  | -1.1±5.9     | -1.4±6.2                  |
| 7oz        | 5.2±10.2               | 9.6±10.1     | 2.0±11.3                  | -1.8±7.1     | -2.3±7.1                  |
| 手関節        |                        |              |                           |              |                           |
| 掌屈/背屈      |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz        | -13.1±19               | -1.1±31.8    | -45.5±11.2                | -8.1±16.2    | -10.1±15.9                |
| 5oz(NPB)   | -10.5±27.3             | -5.7±27.7    | -40.8±20.1                | -10.6±17.1   | -11.7±17.3                |
| 7oz        | -9.7±17.8              | -5.6±30.0    | -42.1±19.1                | -10.1±18.4   | -12.7±18.1                |

表 7 重量の異なるボール間の各タイミングにおける関節角速度比較

| 角速度(deg/sec)           | Maximum knee elevation | Foot contact | Maximum external rotation | Ball release | Maximum internal rotation |
|------------------------|------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| 肩関節<br>内転/外転           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | -28.2±39.5             | 104.2±110.8  | -37.3±209.6               | -7.2±263.9   | -321.4±285                |
| 5oz(NPB)               | -17.7±38.3             | 78.6±96.7    | -3.3±201.3                | 39.1±246.8   | -300.0±293.1              |
| 7oz                    | -28.9±41.9             | 72.7±123.4   | -5.7±209.0                | 38.2±185.8   | -369.8±246.8              |
| 肩関節<br>水平内転/水平外転       |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | -6.9±51.1              | -52.6±127.5  | 259.2±128.6               | 1051.5±237.4 | 1340.3±261.3              |
| 5oz(NPB)               | -4.3±47.1              | -83.4±157.5  | 220.3±128.5               | 978.2±205.4  | 1274.6±223.0              |
| 7oz                    | -9.8±45.9              | -55±148.0    | 228.4±142.2               | 849.4±216.3  | 1226.8±235.7              |
| 肩関節<br>内旋/外旋           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | 25.0±53.7              | -445.5±310.7 | 0.7±38.9                  | 1413.5±553.9 | -12.9±83.0                |
| 5oz(NPB)               | 30.1±53.9              | -428.7±330.8 | -11.2±64.1                | 1491.6±620.1 | -30.2±93.5                |
| 7oz                    | 30.2±52.6              | -409.7±304.0 | -15.4±54.9                | 1858.6±635.7 | -1.4±106.5                |
| 肘関節<br>内反/外反           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | 6±13.5                 | -15.3±64.2   | 137.7±170.5               | 315.0±145.2  | -67.8±147.2               |
| 5oz(NPB)               | 7.5±24.0               | -18.6±50.6   | 135.7±168.4               | 304.8±152.7  | -84.7±159.9               |
| 7oz                    | 4.3±14.1               | -16.7±54.7   | 116.3±154.3               | 358.6±158.9  | -104.3±145.1              |
| 肘関節<br>屈曲/伸展           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | -46.4±63               | 366.3±197.5  | -1079.6±332.3             | 268.9±217.7  | -206.7±229.2              |
| 5oz(NPB)               | -49.3±68.2             | 394.2±206.2  | -1035.6±376.5             | 287±231.3    | -190.9±248.4              |
| 7oz                    | -49.6±74.4             | 375.9±188.9  | -978.6±374.9              | 334.7±261.3  | -220.7±253.8              |
| 肘関節<br>回外/回内           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | 5.7±49.7               | 209.1±171.8  | -682.9±325.0              | -414.5±498.5 | 78.3±328.6                |
| 5oz(NPB)               | -19.0±44.4             | 228.6±160.6  | -671.8±315.6              | -316.9±447.6 | 161.3±254.1               |
| 7oz                    | -11.8±44.8             | 214.6±130.7  | -553.2±265.8              | -546.4±470.0 | 124.7±250.2               |
| 手関節<br>尺屈/橈屈           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | -2.4±39.2              | 7.6±72.7     | -994.9±178.0              | -200.3±238.2 | 72.5±216.2                |
| 5oz(NPB)               | 20.5±80.3              | 37.3±96.2    | -953±212.3                | -184.0±228.8 | 110.6±176.2               |
| 7oz                    | 4.3±27.4               | 16.6±58.8    | -832.8±216.0              | -159.1±234.8 | 132.1±155.9               |
| 手関節<br>掌屈/背屈           |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz<br>5oz(NPB)<br>7oz |                        |              |                           |              |                           |
| 3oz                    | 4.9±87.6               | -176.7±245.5 | 352.9±209.5               | -318.0±261.4 | -14.3±255.9               |
| 5oz(NPB)               | -5.0±105.1             | -43.9±276.9  | 250.9±253.2               | -292.5±334.0 | 60.5±285.6                |
| 7oz                    | 4.5±69.8               | -66.1±225.4  | 265.2±257.1               | -360.6±277.9 | 22.9±272.5                |

全ての関節について、いずれのタイミングにおいても、角度および角速度に重さによる主効果を認めなかった。

・ 3-7) 主観的評価

・ 3-6-1) NPB 球と MLB 球の比較

全対象者 17 名の試技終了後に調査した NPB 球と MLB 球間の主観的な差について図 24 に示す。回答結果は以下の通りであった。(好み; NPB 球 15 名, MLB 球 2 名, 滑りやすさ: NPB 球 2 名, MLB 球 15 名, 重さ: NPB 球 5 名, MLB 球 12 名, 球速: NPB 球 6 名, MLB 球 11 名, 制球: NPB 球 16 名, MLB 球 1 名)。

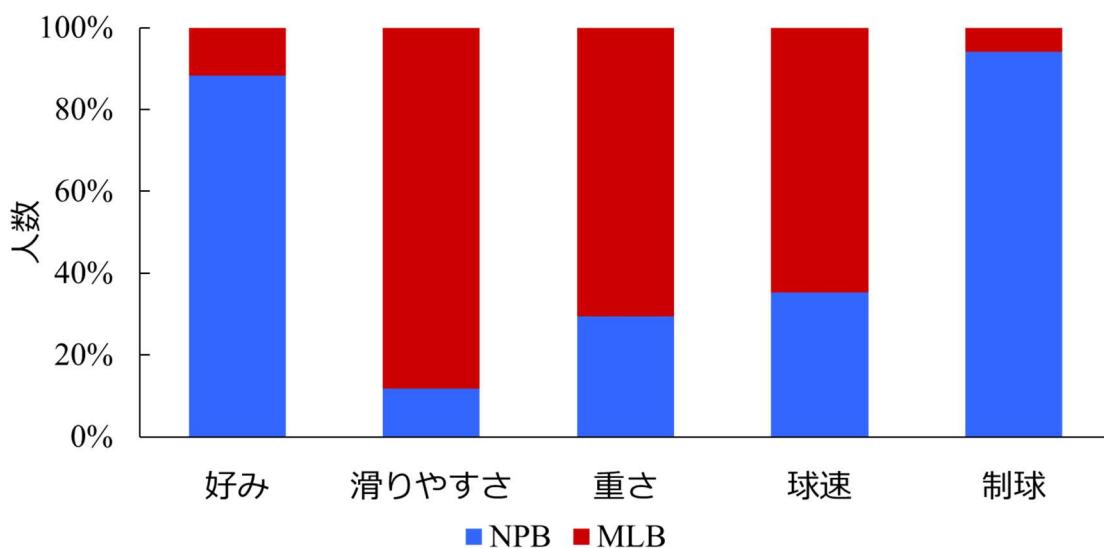


図 24 NPB 球 -MLB 球間における主観的評価

・ 3-6-2) 全条件間の比較

全対象者 17 名の試技終了後に調査した全条件間の主観的な差について図 25 に示す。回答結果は以下の通りであった。好み：NPB 球 13 名、MLB 球 1 名、3oz 球 3 名、滑りやすさ：MLB 球 1 名、WET 条件 14 名、7oz 球 2 名、重さ：7oz 球 17 名、球速：NPB 球 5 名、MLB 球 2 名、3oz 球 9 名、7oz 球 1 名、制球：NPB 球 16 名、7oz 球 1 名)。

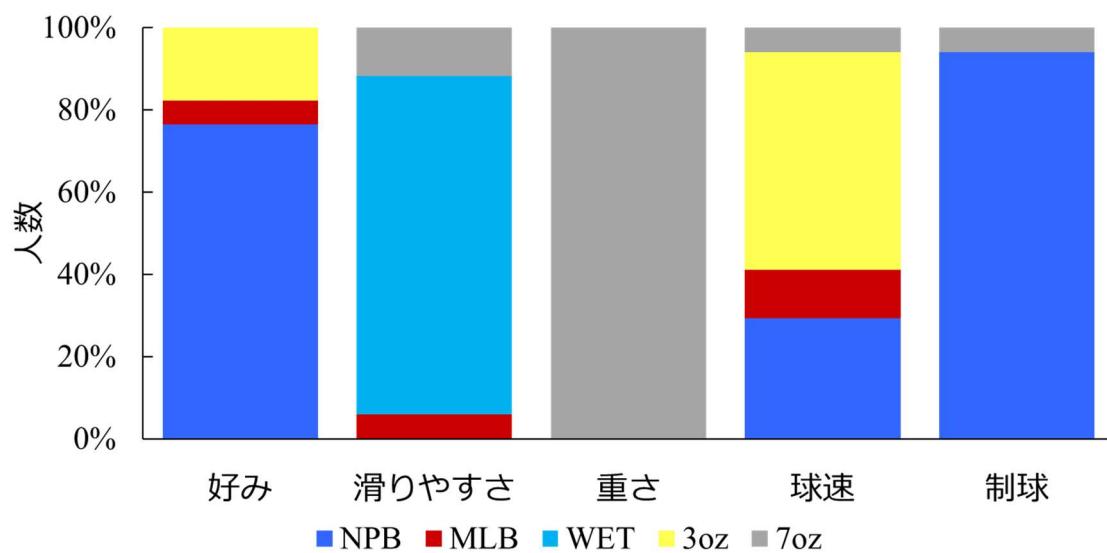


図 25 全条件間における主観的評価

## 第4節 考察

本研究は大学生硬式野球選手を対象とし、投球時における前腕筋群の筋活動を明らかにし、NPB球とMLB球、DRY条件とWET条件、重量の異なるボールの投球が前腕筋群の筋活動および肩、肘、手部の角度と角速度へ及ぼす影響について検討した。前腕筋群の筋活動様式と、各ボールおよび条件の異なる投球動作時の筋活動およびキネマティクスに関する考察を以下に述べる。

### ・ 4-1) 投球における前腕筋群の筋活動様式について

本研究では、前腕筋群の筋活動様式を明らかにするために、Phase間で比較を行った。比較した結果、前腕回内屈筋群において、投球時に前腕回内屈筋群(FCU, PT, FDS)が Acceleration 以降の肩関節、肘関節および前腕部、手関節の角速度変化が大きい時期から(図 19, 図 21, 図 23), 高い筋活動を示した(図 8-図 10)。宮西は<sup>20)</sup>、前腕の回内と手関節の掌屈は筋力による動作ではなく、より近位部である肩や上腕の動きによって生じ、近位部から遠位部の関節をまたぐ筋による活動が張力を発揮することによって力を伝えるとしている。そのため、前腕回内屈筋群の活動は近位から遠位部に力を伝えるための受動的な筋活動であると考える。Late cocking である FC から MER における前腕部の角度変位は回外方向に、手部は軽度尺屈位のまま背屈方向に低速度で変移していくことから(図 20-図 23), 筋の活動によって必要とされる張力が小さく、前腕回内屈筋群の活動が小さかったと考える。一方、MER 以降の BR から MIR は最も前腕回内および掌屈の角速度が最も高くなることから(図 20-図 23),

高い張力が必要となり、前腕回内屈筋群が高い筋活動を示すことにより機能して、上記の動作を遂行していると考える。

ECR は Late cocking と BR 前後、Deceleration において高い活動を示した。ECR の活動の要因として把持力の獲得がある。把持力の増加には前腕屈筋群と協調的に ECR の活動を高め、手関節を背屈位に維持し、手関節を安定させる必要がある<sup>42)43)44)</sup>。投球中にはボールを把持する必要があるためいずれの Phase においても 25% MVIC 以上は活動していたと考える。加えて ECR は前述したとおり Late cocking 中の手関節は低速度で背屈方向に変位する(図 23)。そのため、ECR は主動作筋として高い活動を示したと考える。また、Deceleration は急激に掌屈角速度が減速する(図 23)。そのため、ECR は BR までに生じる手関節の掌屈角速度を減速させるために高い活動を示したと考える。

#### ・ 4-2) NPB 球と MLB 球間の差について

本研究では、NPB 球と MLB 球における投球への影響を検証するために、NPB 球と MLB 球投球時の筋活動と動作の比較を行った。NPB 球と MLB 球における投球時の筋活動を比較した結果、UCL に最も負荷が加わる MER の周囲の Phase において外反制動に寄与する前腕回内屈筋群の活動量に差はなく、唯一 FCU のみ、Deceleration において NPB 球に対し MLB 球が低い活動を示した。一方、伸筋である ECR は BR 前後において NPB 球に対して MLB 球が高い活動を示した(図 12、図 13)。また、両ボール投球時の球速および肩、肘、手部の角度や角速度にも差はなかった(図 18-図 23)。これらの結果から、NPB 球と MLB 球の違いは、投球動作中の前腕回内屈筋群の

肘外反制動に寄与する筋活動に影響を与えないと考える。

投球動作中に最も UCL に負荷が加わるのは、肘内反トルクが最大となる MER 前後の Phase である<sup>14)17)21)23)24)</sup>。肘内反トルクは UCL および軟部組織、骨によって制動されるため<sup>45)</sup>、UCL に負荷を加えないためには筋による適切な control が必要とされている<sup>31)32)33)</sup>。しかし、両ボールを比較した結果、MER 周囲の Phase において前腕回内屈筋群の筋活動に差はなかった(図 12、図 13)。前述したとおり、MER 時に起こる前腕回内屈筋群の活動は必要な張力が小さく小さな筋活動であるため、ボールによる影響が小さく、統計学的な差を認めるほどの差は現れなかった可能性がある。

実際に MER 前後にボールを強く把持させることで、FDS を主とする前腕回内屈筋群の活動を上昇させることができると考える。このことで、MER 前後に UCR にかかる負荷は軽減させることができるかもしれない。先行研究では、MER を模した姿勢で肘外反ストレスをかけながら、ボールを全力で握らせることで、超音波エコー上の尺骨と上腕骨内側上顆の距離が減少したと報告している<sup>46)</sup>。つまり、UCL にかかる伸長ストレスが減少したと考える。しかし、MER 前後でボールを強く握ることは、この Phase に起こる前腕回外、手関節背屈尺屈を妨げ、投球パフォーマンスを低下させる可能性がある。これらの結果より、UCL にかかる負荷を減らすという観点から、単純に MER 前後の前腕回内屈筋群の筋活動を高めるだけでは MLB に移籍した投手の肘傷害予防にはならないと考える。

一方、NPB 球と MLB 球の違いは BR 周囲の Phase において筋活動に影響を及ぼすことが示唆された。BR は投球動作における繊細な運動連鎖によって上肢の各関節の角速度が高め、最終的にボール

へ力を伝える瞬間である<sup>16)17)18)</sup>。プラスチックボールを用いて、重量の違いと、粘着テープの有無による表面性状の違いが手指に加わる力へ及ぼす影響について比較した研究では<sup>47)</sup>、ボール重量が重いほど BR 時に指へ加わる力は増加し、統計的には差はないが粘着テープの粘着性が増加した条件で指に加わる力が増加したと報告していることから、本研究においてもボールの表面性状が BR 周囲の Phase に影響を及ぼしたと考える。

NPB から MLB へ移籍した選手は、NPB 球に対して MLB 球は滑りやすい(粘着性が低い)と述べており<sup>8)</sup>。本研究における実験終了後に行った条件に対する主観的なアンケートにおいても、NPB 球に対して MLB 球の方が滑りやすいと回答した選手が多かった(図 24)。Seo らが行った把持力と手関節掌背屈筋力および筋活動の関係を見た研究では<sup>48)</sup>、把持力が低下する条件の場合、前腕屈筋群の活動および掌屈筋力が低下することから、滑りやすい条件や纖細な物体を把持する場合も前腕屈筋群の活動および掌屈筋力が低下する可能性を示唆している。本研究では、ボール重量による前腕筋群における差は認めなかつたが(図 16, 図 17)、ボールが滑りやすい WET 条件では、前腕回内屈筋群の活動は低下した(図 14, 図 15)。このことから、本研究において NPB 球に対して MLB 球が BR 付近の Phase において FCU の活動が低下したのは、ボールの滑りやすさにより MLB 球の把持がより困難であったことに起因する可能性がある。

また、BR 周囲の Phase において FCU の活動が低下したのに対して ECR の活動は増加した(図 12, 図 13)。把持力を高めるためには、4-1 で示した通り、前腕屈筋群と協調的に ECR の活動を高め、手関節を背屈位に維持し、手関節を安定させる必要がある。本研究にお

いて、FCU の筋活動の低下とは対照的に、NPB 球に対して MLB 球において BR 前後で ECR の活動が増加したのは、MLB 球が滑りやすいことによって、より強い把持力が必要となつたため ECR の活動が増加したと考える。

#### ・ 4-3) DRY 条件と WET 条件間の差について

本研究では、ボールの滑りやすさが筋活動に及ぼす影響について検証するために、DRY 条件と WET 条件間での比較を行つた。本研究の結果より、WET 条件は DRY 条件に対して球速および前腕回内屈筋群の活動が全体的に低値を示し、統計的な差はないが BR 前後のみ前腕の伸筋である ECR が高値を示した。把持力が低下する条件の場合、前腕屈筋群の活動および掌屈筋力が低下すると報告がある<sup>48)</sup>。実験後のアンケートにおいて WET 条件は滑りやすいと示していることから(図 25)、本研究における WET 条件は滑りやすく把持力が低下する条件だったため、前腕屈筋群の活動が低値を示した可能性がある。また把持力と前腕屈筋群の活動が低下したことから、通常のパフォーマンス(球速)を発揮できず球速が低下した可能性がある。

BR 前後でのみ ECR が WET 条件で高値を示したのは、NPB 球と MLB 球の関係と同様に、WET 条件が DRY 条件に対して滑りやすく把持力が必要な条件であったため、各関節の角速度が高まる BR 前後に ECR の活動が増加したと推察するが、統計的に差を認めなかつたため、今後慎重に検討していく必要がある。

また、PT が WET 条件で低値を示したのは、前腕屈筋群とパフォーマンスが低下したことにより、協調的に活動が低下した可能性を

推察するが、詳細は明らかではない。

#### ・ 4-4) 重量の差における筋活動と動作について

本研究では、ボール重量の違いが筋活動に及ぼす影響について検証するために、異なる重量のボール間で比較を行った。本研究において、重量の違いは球速に影響したが、筋活動および各関節の角度および角速度に影響はなかった(図 16, 図 17, 表 6, 表 7)。

本研究においてボール重量が角速度および筋活動に影響を及ぼさなかった要因は「慣れ」によるものだと推察する。ボールの重量が角速度および肘内反トルクに影響を及ぼした Fleisig らの研究では<sup>10)</sup>、対象者を重量の異なるボールを用いたトレーニングを普段から行っている選手としており、Hore らは<sup>47)</sup>、様々な条件の投球タスクにおいて、投球時の把持力は慣れていなことにより制限される可能性があるとしている。本研究の対象者は普段重量の異なるボールを用いてトレーニングを行っていない。統計的な差はないが、重量の差における前腕筋の比較において 3oz 球と 7oz 球が低値を示し、5oz(NPB 球)の活動が高値を示していたのは慣れによる制限である可能性を推察するが(図 16 図 17), 詳細は明らかではない。

#### ・ 4-5) 研究の限界

本研究では対象者の多くが野手であった。野手は投手と比較して投球機会が少なく、投球フォームが安定していない可能性があり、各条件における角度および角速度の結果に影響をおよぼした可能性がある。しかし、ボールの違い前腕筋群の活動に差が生じた。そのため、少なくともボールの影響で投球時の筋への影響はあると言える。今後はポジションの影響を排除するために、ポジション

を統一、特に投手を対象にすることによって筋活動と動作との関係をより詳細に検討することが可能になると考へる。

本研究の対象者は大学生硬式野球部に所属する選手であった。そのため、NPBからMLBへ移籍する投手におけるボールの違いによる投球への影響は不明である。しかしNPBからMLB移籍する投手に比べて遅い球速の選手においても前腕筋の活動に差が生じたことから、NPBからMLBへ移籍する投手においてUCL損傷が発生していることから、高いパフォーマンスの選手において影響が顕著に出る可能性がある。そのため、高いパフォーマンスの投手を対象とした検討が今後必要である。また、低いパフォーマンスにおいても筋活動に差が生じたことから、比較的パフォーマンスの低い、学童期や中学・高校生の年代における影響も検討が必要であると考える。高校生以下の年代においてステージが変わるタイミングで、傷害の発生数が多いとされ、また環境(使用するボール)が変わる。そのため、当年代におけるボールの違いによる影響を検討することによって、当年代の環境の変化による傷害発生メカニズム解明の一助になる可能性がある。

本研究は横断研究であったため、異なるボールを用いた経時的な影響は明らかではない。投球障害は投球動作の繰り返しによって生じるため、環境の違いによる微細な運動連鎖の乱れにおいても障害発生のリスクになるとされている。本研究において、異なるボールを用いた投球がBR時の筋活動に影響をおよぼしたことから、異なるボールの投球の繰り返しが投球動作や運動連鎖に影響する可能がある。そのため、今後は異なるボールを継続的に用いた前後の経時的变化を検討していくことにより、詳細なボールの影響と傷害

との関係性について明らかにできると考える。

室内で狭い環境での実験だった。通常、ホームベースから 18.44m 離れた場所から投球する。投球距離が変わると、前腕の筋活動様式が変わることから<sup>49)</sup>、今後は可能な限り投球環境を実際の条件に近づけた検討を行う必要がある。

本研究は全条件をランダムに実施しなかった。本研究における試技の順番は NPB 球と MLB 球の 2 条件をランダムに投球し、その後 WET 条件、3oz 球、7oz 球の 3 条件をランダムな順番で実施した。疲労の影響を考え各条件間で 10 分の休息を取ったが、疲労の影響は完全に取り除けたか明らかではない。そのため、疲労の影響を完全に取り除くため、全条件をランダムに行い検討を行う必要がある。ただし、各条件間における双方への影響は不明であるため、慎重に検討することが必要である。

本研究では、肘内反トルクについて検討していない。角度および角速度で差がなかったことから、肘内トルクに差はないと推察するが本研究では明らかではない。今後は内反トルクと前腕筋の活動の関係について明らかにする必要がある。

本研究で用いた NPB 球と MLB 球は主観的に差があるが、摩擦係数や反発係数などの客観的な差は明らかではない。客観的な違いが今後明らかになればより詳細な検討ができる可能性がある。

## 第5節 結論

前腕筋群は投球時に BR 周囲の Phase で高い活動を示した。

NPB 球および MLB 球投球時における前腕筋群の筋活動を比較した結果、UCL に最も負荷が加わる MER 周囲の Phase において、前腕筋群に差を認めなかつたが、BR 周囲の Phase において FCU の活動は低下し、ECR の活動が増加した。

## ■ 参考文献

- 1) Posner, Matthew, Cameron, Kenneth L., Wolf, Jennifer Moriatis, Belmont, Philip J., Owens, Brett D. Epidemiology of Major League Baseball Injuries. *The American Journal of Sports Medicine.* 2011, vol. 39, no. 8, p. 1675–1691.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546511411700>.
- 2) Conte, Stan, Camp, Christopher L., Dines, Joshua S. Injury Trends in Major League Baseball Over 18 Seasons: 1998-2015. *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.).* 2016, vol. 45, no. 3, p. 116–23.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26991562>.
- 3) Ciccotti, Michael G., Pollack, Keisha M., Ciccotti, Michael C., D'Angelo, John, Ahmad, Christopher S., Altchek, David, Andrews, James, Curriero, Frank C. Elbow Injuries in Professional Baseball: Epidemiological Findings From the Major League Baseball Injury Surveillance System. *The American Journal of Sports Medicine.* 2017, vol. 45, no. 10, p. 2319–2328.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546517706964>.
- 4) 丸山真博, 高原政利, 原田幹生, 佐竹寛史, 江口理博. 高校野球選手における守備位置と全身の各部位の痛みとの関係. *日本臨床スポーツ医学誌.* 2012, vol. 20, no. 3, p. 480–486.
- 5) Conte, Stan A., Fleisig, Glenn S., Dines, Joshua S., Wilk, Kevin E., Aune, Kyle T., Patterson-Flynn, Nancy, ElAttrache, Neal. Prevalence of Ulnar Collateral Ligament Surgery in Professional

- Baseball Players. *The American Journal of Sports Medicine*.  
2015, vol. 43, no. 7, p. 1764–1769.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546515580792>.
- 6) Guidelines, Pitch Smart. “Pitch Smart”. MLB.  
<https://www.mlb.com/pitch-smart>.
- 7) Schmidt, Michael. “For Japanese Pitcher, a Mound of Challenges –”. *The New York Times*.  
<https://www.nytimes.com/2009/07/09/sports/baseball/09pitcher.html>.
- 8) Homer, Brett. “The Scientific Differences Between Masahiro Tanaka Pitching in Japan and Major League Baseball”.  
<https://www.sporttechie.com/the-scientific-differences-between-masahiro-tanak-pitching-in-japan-and-the-mlb/>.  
<https://www.sporttechie.com/the-scientific-differences-between-masahiro-tanak-pitching-in-japan-and-the-mlb/>.
- 9) Jaffe, Jay. “A juiced baseball scandal in Japan | SI.com”. *Sports Illustrated*. <https://www.si.com/mlb/strike-zone/2013/06/12/japan-juiced-baseballs>.
- 10) Fleisig, Glenn S., Diffendaffer, Alek Z., Aune, Kyle T., Ivey, Brett, Laughlin, Walter A. Biomechanical Analysis of Weighted-Ball Exercises for Baseball Pitchers. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*. 2017, vol. 9, no. 3, p. 210–215.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1941738116679816>.
- 11) 森本吉謙. ボール重量が野球の投球におけるスピードと正確性に及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*. 2001, vol. 14, no. 1, p. 85–92.

- 12) Hore, J., Watts, S., Tweed, D. Prediction and Compensation by an Internal Model for Back Forces During Finger Opening in an Overarm Throw. *Journal of Neurophysiology*. 1999, vol. 82, no. 3, p. 1187–1197.  
<https://www.physiology.org/doi/10.1152/jn.1999.82.3.1187>.
- 13) 日本野球機構. “統一試合球に関する規則改正について”. 日本野球機構. <http://npb.jp/npb/20150203release.html>.
- 14) Fleisig, Glenn S., Barrentine, Steven W., Escamilla, Rafael F., Andrews, James R. Biomechanics of Overhand Throwing with Implications for Injuries. *Sports Medicine*. 1996, vol. 21, no. 6, p. 421–437. <http://link.springer.com/10.2165/00007256-199621060-00004>.
- 15) Fleisig, Glenn S., Kingsley, David S., Loftice, Jeremy W., Dinnen, Kenneth P., Ranganathan, Rajiv, Dun, Shouchen, Escamilla, Rafael F., Andrews, James R. Kinetic comparison among the fastball, curveball, change-up, and slider in collegiate baseball pitchers. *American Journal of Sports Medicine*. 2006, vol. 34, no. 3, p. 423–430.
- 16) Hirashima, Masaya, Kadota, Hiroshi, Sakurai, Shizuka, Kudo, Katzutoshi, Ohtsuki, Tatsuyuki. Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*. 2002, vol. 20, no. 4, p. 301–310.  
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0264041027535760>

- 17) 宮西智久, 宮永豊, 福林徹, 馬見塚尚孝, 藤井範久, 阿江通良, 功力  
靖雄, 岡田守彦. 投球動作における肘・肩関節の3次元動力学的研究  
—投球上肢の運動パターンと障害発生の可能性との関連—. 体力科学.  
1999, vol. 48, no. 5, p. 583–595.
- 18) 宮西智久. “野球の投球動作のバイオメカニクス的研究－加速局面の上腕  
と投球腕の運動に着目して－”. University of Tsukuba. 2000.
- 19) Miyanishi, Tomohisa, Fuji, Norihisa, Ae, Michiyoshi, Kunugi,  
Yasuo, Okada, Morihiko. A three-dimensional study on  
contribution of torso and throwing arm segments to ball velocity  
in baseball throwing motion. *Taiikugaku kenkyu (Japan Journal  
of Physical Education, Health and Sport Sciences)*. 1996, vol.  
41, no. 1, p. 23–37.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjpehss/41/1/41\\_KJ00003391477/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjpehss/41/1/41_KJ00003391477/_article/-char/ja/).
- 20) 金子公宥, 哲夫福永. バイオメカニクス－身体運動の科学的基礎. 杏林  
書院. 2004, p. 262–281.
- 21) Fleisig, Glenn S., Andrews, James R., Dillman, Charles J.,  
Escamilla, Rafael F. Kinetics of Baseball Pitching with  
Implications About Injury Mechanisms. *The American Journal of  
Sports Medicine*. 1995, vol. 23, no. 2, p. 233–239.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/036354659502300218>.
- 22) Ahmad, Christopher S., Lee, Thay Q., ElAttrache, Neal S.  
Biomechanical Evaluation of a New Ulnar Collateral Ligament  
Reconstruction Technique with Interference Screw Fixation. *The  
American Journal of Sports Medicine*. 2003, vol. 31, no. 3, p.

332–337.

<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03635465030310030201>

- .
- 23) Chen, Frank S., Rokito, Andrew S., Jobe, Frank W. Medial Elbow Problems in the Overhead-Throwing Athlete. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2001, vol. 9, no. 2, p. 99–113.  
<http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00124635-200103000-00004>.
- 24) Vitale, Mark A., Ahmad, Christopher S. The Outcome of Elbow Ulnar Collateral Ligament Reconstruction in Overhead Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*. 2008, vol. 36, no. 6, p. 1193–1205.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546508319053>.
- 25) Davis, J. T., Limpisvasti, Orr, Fluhme, Derrick, Mohr, Karen J., Yocum, Lewis A., ElAttrache, Neal S., Jobe, Frank W. The Effect of Pitching Biomechanics on the Upper Extremity in Youth and Adolescent Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009, vol. 37, no. 8, p. 1484–1491.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546509340226>.
- 26) Ben Kibler, W. The Role of the Scapula in Athletic Shoulder Function. *The American Journal of Sports Medicine*. 1998, vol. 26, no. 2, p. 325–337.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03635465980260022801>
- .

- 27) 宮下浩二. 野球における投球障害の予防. 日本アスレティックトレーニング学会誌. 2019, vol. 4, no. 2, p. 137–145.
- 28) Diffendaffer, Alek Z., Slowik, Jonathan S., Lo, Nicholas J., Drogosz, Monika, Fleisig, Glenn S. The influence of mound height on baseball movement and pitching biomechanics. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2019, vol. 22, no. 7, p. 858–861.  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244018310685>.
- 29) Okoroha, Kelechi R., Meldau, Jason E., Jildeh, Toufic R., Stephens, Jeffrey P., Moutzouros, Vasilios, Makhni, Eric C. Impact of ball weight on medial elbow torque in youth baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2019, p. 1–6.  
<https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.01.025>.
- 30) 菅谷啓之. 投球障害肩の現状. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2018, vol. 26, no. 3, p. 297–299.
- 31) Davidson, Philip A., Pink, Marilyn, Perry, Jacqueline, Jobe, Frank W. Functional Anatomy of the Flexor Pronator Muscle Group in Relation to the Medial Collateral Ligament of the Elbow. *The American Journal of Sports Medicine*. 1995, vol. 23, no. 2, p. 245–250.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/036354659502300220>.
- 32) Lin, Fang, Kohli, Navjot, Perlmutter, Sam, Lim, Dohyung, Nuber, Gordon W., Makhsous, Mohsen. Muscle contribution to elbow joint valgus stability. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2007, vol. 16, no. 6, p. 795–802.

- <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058274607004041>.
- 33) Park, Maxwell C., Ahmad, Christopher S. Dynamic Contributions of the Flexor-Pronator Mass to Elbow Valgus Stability. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 2004, vol. 86, no. 10, p. 2268–2274. <http://insights.ovid.com/crossref?an=00004623-200410000-00020>.
- 34) Koizumi, Hiroaki, Oyama, Mineo, Odagiri, Masahiro. 円回内筋両頭の筋活動が肘関節の動的支持機能へ与える影響. *日本肘関節学会雑誌*. 2017, vol. 24, no. 2, p. 385–388.
- 35) Hamilton, Christopher D., Glousman, Ronald E., Jobe, Frank W., Brault, John, Pink, Marilyn, Perry, Jacquelin. Dynamic stability of the elbow: Electromyographic analysis of the flexor pronator group and the extensor group in pitchers with valgus instability. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 1996, vol. 5, no. 5, p. 347–354.  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1058274696800656>.
- 36) Remaley, D. Trey, Fincham, Bryce, McCullough, Bryan, Davis, Kirk, Nofsinger, Charles, Armstrong, Charles, Stausmire, Julie M. Surface Electromyography of the Forearm Musculature During the Windmill Softball Pitch. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2015, vol. 3, no. 1, p. 232596711456679. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2325967114566796>.
- 37) Stegeman, D., Hermens, H. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). Línea). Disponible

- en: <http://www.med....2007, no. May 2014, p. 108–112.>  
<http://www.seniam.org/%5Cnhttp://www.med.uni-jena.de/motorik/pdf/stegeman.pdf.>
- 38) 飯塚哲司. 水泳競技における筋活動解析 EMG analysis during front swimming. 早稲田大学 博士論文. 2018.
- 39) Escamilla, Rafael F., Fleisig, Glenn S., Barrentine, Steven W., Zheng, Naiquan, Andrews, James R. Kinematic Comparisons of Throwing Different Types of Baseball Pitches. *Journal of Applied Biomechanics*. 1998, vol. 14, no. 1, p. 1–23.  
<https://journals.human kinetics.com/view/journals/jab/14/1/article-p1.xml>.
- 40) 田中 洋. 投球障害予防を目的とした投球動作時の肩関節負荷に関する運動学・動力学的研究 Relationship between shoulder joint load and pitching biomechanics in relation. 新潟大学大学院自然科学研究科 博士論文. 2015.
- 41) Sabick, Michelle B., Torry, Michael R., Lawton, Richard L., Hawkins, Richard J. Valgus torque in youth baseball pitchers: A biomechanical study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2004, vol. 13, no. 3, p. 349–355.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1058274604000308>.
- 42) 江渡文, 村田伸, 甲斐義浩, 政所和也. 手関節掌屈・背屈筋の把握動作時の筋活動の特徴. 日本作業療法研究学会雑誌. 2012, vol. 14, no. 2, p. 31–34.
- 43) Sidek, Shahrul Naim, Haja Mohideen, Ahmad Jazlan. “Mapping

- of EMG signal to hand grip force at varying wrist angles". 2012 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences. IEEE, 2012, p. 648–653.  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6498069/>.
- 44) 鈴木徹, 伊東元, 江原皓吉, 宏齋藤. 手関節姿位と握力の関係について. 理学療法学. 1986, vol. 13, no. 6, p. 409–413.
- 45) Morrey, Bernard F., an, Kai Nan. Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint. The American Journal of Sports Medicine. 1983, vol. 11, no. 5, p. 315–319.
- 46) Pexa, Brett S., Ryan, Eric D., Myers, Joseph B. Medial Elbow Joint Space Increases With Valgus Stress and Decreases When Cued to Perform A Maximal Grip Contraction. The American Journal of Sports Medicine. 2018, vol. 46, no. 5, p. 1114–1119.  
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546518755149>.
- 47) Hore, J., Watts, S., Leschuk, M., MacDougall, A. Control of Finger Grip Forces in Overarm Throws Made by Skilled Throwers. Journal of Neurophysiology. 2001, vol. 86, no. 6, p. 2678–2689.  
<https://www.physiology.org/doi/10.1152/jn.2001.86.6.2678>.
- 48) Seo, Na Jin, Armstrong, Thomas J., Ashton-Miller, James A., Chaffin, Don B. Wrist strength is dependent on simultaneous power grip intensity. Ergonomics. 2008, vol. 51, no. 10, p. 1594–1605.  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140130802216925>

49) Lipinski, Cassandra L., Donovan, Luke, McLoughlin, Thomas J.,  
Armstrong, Charles W., Norte, Grant E. Surface  
electromyography of the forearm musculature during an overhead  
throwing rehabilitation progression program. *Physical Therapy*  
in Sport. 2018, vol. 33, p. 109–116.

<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.07.006>.

## ■ 謝辞

本論文の執筆にあたり、ご指導ご協力いただいた多くの方々に、心から感謝の意を表します。

指導教官である早稲田大学スポーツ科学学術院教授、金岡恒治先生には、本論文の研究内容の指導を初め、不变の真理の追究、表現の重要性、先人や他者への尊敬など、研究手法や研究に対する姿勢について、多大なるご指導とご助言をいただきました。金岡先生にご指導いただいた2年間は、次年度からも医療に携わる道へ進む私にとって、何にも代えがたい貴重な期間でした。未熟な私を見放すことなく、叱責や激励の言葉を幾度となく贈り続けていたことに、深謝いたします。今後とも変わらぬご指導ご鞭撻のほど、よろしくお願ひいたします。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、鳥居俊先生には、本修士論文の副査および研究室の勉強会に快く受け入れてくださり、修士課程1年の初期から度重ね変更する私の研究テーマに対し、研究手法や取得すべきデータなど、本修士論文をより良いものにするため、多くの助言をいただきましたことに、心よりお礼申し上げます。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、矢内利政先生には、本修士論文の副査を快く引き受けてくださり、また修士課程の授業「バイオメカニクス特論」では動作解析の基礎に関して丁寧に教えていたいたうえ、本修士論文の内容に関する質問に対して度重ねご意見をくださったことに、厚くお礼申し上げます。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、熊井司先生には、研究室の勉強会に快く受け入れてくださり、研究手法やデータの解釈に関する

る助言を，修士課程1年の初期から多くの助言をいただきました。また，修士課程1年時には他研究室の学生にも関わらず学会発表で使用するデータに関する助言をいただき，修士課程2年時には私の今後の進路に關係することだからと，企業との合同研究に関するデータミーティングに参加する貴重な機会をいただきました。心よりお礼申し上げます。

帝京大学医療技術学部スポーツ医療学科准教授，佐野村学先生には，修士課程進学の支援に際する多大なるご尽力，また進学後も本論文やその他学術集会に際する幾度とない助言や指導などをいただきました。心より感謝申し上げます。

本研究の対象者として，快く参加していただいた東洋学園大学硬式野球部の選手の皆様，ご協力いただいた監督，部長，スタッフの皆様に感謝いたします。今後のご活躍を心より応援しております。

本論文の執筆に際して，阿久澤弘助教には，本論文における研究手法や表現に関する助言を数多くいただきました。また人間関係の相談や，本論文を初めとした，修士課程での2年間における全ての学術的文章に関する添削を，数知れないほど行っていただいたことに，深謝いたします。

誉田研究室の修士課程2年，小野寺康成さんには，本修士論文におけるMATLABによるデータ処理において，多大なる助力をいただきました。MATLABに関して素人であった私にMATLABの基礎を丁寧に教えてくださり，また本研究における動作解析のプログラムの汎用性を高め，最も効率のよい形にしてくださいました。また，特に修士論文執筆で一番辛い時に，お互い励ましあうことができた良き同期に，心よりお礼申し上げます。

本論文の執筆だけではなく修士課程の2年間において、金岡研究室の皆さまから数多くのご指導ご協力をいただきました。博士後期課程3年の安達玄さんには、本論文の研究内容および現在に至るまで研究に関する助言を初め、入学前には他大学から本学の修士課程に進む私に気遣い事前準備をしてくださいました。また、本論文の根幹であるスポーツ傷害の予防、特に投球を行う研究において必要なことを、惜しみなく指導をしていただきました。博士後期課程2年、押川智貴さんには、本修士論文の研究に関する助言を初め、必要になることを見越して入学前から実験への参加のご許可をくださいり、研究に対する姿勢、研究の進め方、修士論文の書き方などの助言から日々学ばせていただきました。また、安達さんも押川さんも、私が研究や進路などで行き詰っている時には各々でいつも相談に乗ってくださいり、叱咤激励してくださいましたことに、心からお礼申し上げます。研究室の同期である、研究に関する客観的な意見を下さった高木紀史さん、研究内容他に進路、人間関係についてなど常に精神的に支えてくださった中村幸次さん、ならびにいつも優しく支えてくださった先輩・後輩の皆様に、心より感謝申し上げます。

勉強会やデータミーティングに参加させていただいた鳥居研究室と熊井研究室の皆さまには、研究手法に関する助言やデータの考察、表現方法について、度重ねご意見をいただきました。鳥居研究室では修士課程1年時から参加させていただき、飯塚哲司助教より本修士論文における研究手法や取得すべきデータに関する助言に加え、入学前から本論文執筆に至るまで、金岡研究室に関する助言を数多くいただきました。また、投球肘障害や本研究の結果に関する

る助言を惜しみなく下さった博士後期課程 1 年の筒井俊春さん，同期として支えてくださった平林公一さんと堀明日香さん，鳥居研究室の皆様に心より感謝申し上げます。熊井研究室の皆さんには，修士課程 2 年時からお世話になり，特に博士後期課程 1 年の前道俊宏さんと奥貫拓実さんには研究手法や表現の仕方について度重ねご教示いただきましたことを，厚くお礼申し上げます。

また，修士課程の 2 年間で関わり，研究面と精神面で支えになつてくれた大学院の同期および先輩・後輩の皆様に，感謝申し上げます。

最後になりますが，修士課程進学に理解を示し，私を 24 年間ここまで育て支えてくれた家族に，心より感謝申し上げます。

2020 年 1 月 10 日 久保田 錬