

博士論文

**肩甲骨の運動異常を有する野球選手の  
投球動作における肩関節の運動学・動力学解析**

*Kinematic and Kinetic Analysis of The Shoulder Joint During the Pitching Motion*

*With Scapular Dyskinesia in Baseball Players.*

**2018 年度入学**

**1415180003 植田 篤史**

**指導教員 中村 康雄 教授**

# 目次

## 用語の定義

総論.....	1
第1章 序論.....	3
1.1 投球障害肩の疫学 .....	3
1.2 投球障害肩に対する治療効果とスポーツ復帰 .....	3
1.3 肩関節機能における肩甲骨の役割.....	5
1.4 肩甲骨の運動異常の疫学 .....	8
1.5 肩甲骨の運動異常と肩関節障害の関連 .....	9
1.6 投球動作のパフォーマンスとバイオメカニクス.....	10
1.7 投球動作における肩関節のバイオメカニクスと投球障害 .....	13
1.8 肩関節の機能障害と投球動作中の肩関節のバイオメカニクスの関連.....	13
1.9 本研究の目的.....	15
第2章 野球選手における肩甲骨の運動異常の評価と発生状況の検討 .....	17
2.1 はじめに .....	17
2.2 方法 .....	20
2.2.1 対象.....	20
2.2.2 対象者の属性 .....	20

2.2.3 肩甲骨の運動異常の評価.....	21
2.2.4 肩甲骨の運動異常の分類.....	21
図.....	23
2.3 結果 .....	25
表.....	26
図.....	29
2.4 考察 .....	30
2.4.1 本研究の結果の概要 .....	30
2.4.2 肩甲骨の運動異常テストの検者間信頼性 .....	30
2.4.3 本研究と先行研究の肩甲骨の運動異常の発生率の比較（異常の有無） .....	31
2.4.4 本研究と先行研究の肩甲骨の運動異常 type の発生率の比較.....	33
2.4.5 肩甲骨の運動異常テストの有用性.....	35
2.4.6 肩甲骨の運動異常の type と肩甲骨運動の関連性 .....	36
2.4.7 肩甲骨の運動異常 type Iの原因と投球動作中の肩関節運動の関連 .....	37
まとめ .....	39
表.....	40
第3章 肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作中の肩関節の運動学・動力学的 解析 .....	41

3.1 はじめに .....	41
3.2 方法 .....	43
3.2.1 対象.....	43
3.2.2 群分け .....	43
3.2.3 投球動作解析 .....	44
3.2.4 投球動作中の肩甲骨運動の計測方法 .....	44
3.2.5 投球動作中の肩甲骨運動の計測手順 .....	45
3.2.6 座標系の設定 .....	47
3.2.7 投球動作中の肩甲骨姿勢の推定方法 .....	49
3.2.8 運動学的パラメータ（関節角度，角速度）の算出 .....	50
3.2.9 動力学パラメータ（関節間力，関節モーメント）の算出 .....	51
3.2.10 投球動作の解析方法 .....	56
3.2.11 統計解析.....	57
図.....	59
3.3 結果 .....	73
表.....	77
図.....	92
3.4 考察 .....	99

3.4.1 本研究の結果の概要 .....	99
3.4.2 投球パフォーマンス（球速） .....	100
3.4.3 投球動作中の肩関節の角度（先行研究との比較） .....	100
3.4.4 投球動作中の体幹の角度（先行研究との比較） .....	104
3.4.5 投球動作中の肩関節の関節間力と関節モーメント（先行研究との比較） .....	104
3.4.6 異常群（type I含む）における投球動作と肩関節障害との関連性 .....	106
3.4.7 肩甲骨の運動異常 type Iの原因とその改善方法.....	108
まとめ .....	110
表.....	112
図.....	114
第4章 総括 .....	117
4.1 本研究のまとめ .....	117
4.2 本研究における臨床的意義.....	119
4.3 本研究の限界.....	120
4.4 将来の展望 .....	123
謝辞.....	125
参考文献.....	126
補足資料.....	139

## 用語の定義

- ・ 力学的ストレス：関節やその周囲の軟部組織に生じる伸張や圧縮，捻じれなどの物理的な負荷.
- ・ 肩関節痛：力学的ストレスに起因した軟部組織の損傷にともなう肩関節周囲の痛み.
- ・ 発症リスク：障害の発症確率が高くなること.
- ・ 胸郭上腕関節の運動：胸郭に対する上腕の運動.
- ・ 肩甲骨運動：胸郭に対する肩甲骨の運動.
- ・ 肩甲上腕関節の運動：肩甲骨に対する上腕の運動.
- ・ 体幹運動：地面に対する胸部の運動（腰部，骨盤は除く）. または，上部体幹の運動.
- ・ 肩関節運動：体幹と胸郭上腕関節，肩甲上腕関節，肩甲骨の運動を含めた広義の肩関節運動. または，見かけ上の上腕の運動.
- ・ 肩関節の運動異常：肩甲骨や上腕骨を含めた過剰および過小な運動.
- ・ 肩甲骨の運動異常：肩甲骨の過剰および過小な運動.
- ・ 肩甲上腕関節の運動異常：肩甲上腕関節の過剰および過小な運動.
- ・ バイオメカニクス：関節角度や角速度を含めた運動学的パラメータおよび関節トルクや関節間力を含めた動力学的なパラメータの総称.

- ・ 偏位：関節間に生じる剪断力にともなう骨の並進運動のこと。
- ・ 投球パフォーマンス：球速やコントロールのこと。本研究では球速を投球パフォーマンスとする。
- ・ 機能障害：可動域の制限や筋力低下などの関節に生じる機能異常。
- ・ リハビリテーション：機能障害の回復を目的としたストレッチや筋力トレーニングなどの運動療法。

## 総論

野球の投球動作における肩関節は広範囲かつ高速度に運動することから、投球パフォーマンスに関与する主要な関節のひとつである(Kibler et al 2013; Wilk et al 2002). その一方で、投球動作中の肩関節の運動異常は投球障害肩を引き起こす(Burkhart et al 2000, 2003; Kibler et al 2013). また、肩関節の運動異常をともなった投球動作を反復することにより、投球障害肩が重症化し、投球パフォーマンスの低下のみならず、競技活動の長期の離脱を要する(Burkhart et al 2003; Fares et al 2020). このことから、投球パフォーマンスの低下や投球障害肩の重症化を未然に防ぐために、肩関節の運動異常を適切に評価することが重要である. しかし、肩関節の運動異常が投球動作中の肩関節運動に及ぼす影響を示した研究は非常に少ない.

先行研究より、投球障害肩に関連する肩甲上腕関節の運動異常（過剰な運動）や投球パフォーマンスの低下は、肩甲骨の運動異常が一因となることが言及されている一方、エビデンスはまだ明確になっていない(Burkhart et al 2003; Kibler et al 2013; Ludewig et al 2017) (第 1 章 3 節). 従来の新鮮遺体を用いた研究により、肩甲骨の運動異常は投球動作に近似した肩関節最大外旋位の姿勢における肩関節の力学的なストレスを増加させることが証明されている(Mihata et al 2012; Mueller et al 2013). 野球選手における肩甲骨の運動異常は投球パフォーマンスの低下や投球動作中の肩関節の運動や力学的ストレスを増加させることが考えられるが、著者が渉猟する限り明らかになっていない.

そこで、本研究の目的は肩甲骨の運動異常と投球パフォーマンスの指標である球速、肩関節の外旋と肩甲骨の後傾との関連性を明らかにすることとした。肩甲骨の運動異常と投球パフォーマンス、投球動作中の肩関節のバイオメカニクスとの関連性を明らかにすることは、野球選手の競技力向上や障害予防のためのトレーニングやリハビリテーションの方法の構築の一助になることが期待される。

本論文は全4章で構成される。第1章では投球障害肩の疫学やその治療、投球動作パフォーマンスの向上や障害予防のための肩関節機能における肩甲骨の役割、肩甲骨の運動異常の疫学と肩痛との関連、投球パフォーマンスと投球動作のバイオメカニクス、投球動作における肩関節のバイオメカニクスと投球障害、肩関節の機能障害と投球動作のバイオメカニクスとの関連性について、それぞれレビューした。第2章では、投球障害の発症リスクを高める要因とされる肩甲骨の運動異常を分類し、その発生状況について検討した。野球選手を対象とした測定の結果、肩甲骨後傾の低下をともなう肩甲骨の運動異常の発生数が多かったことが明らかになった。第3章では、第2章で評価した肩甲骨の後傾運動に異常を有した野球選手と正常な肩甲骨運動を有する野球選手において、投球動作中の肩関節のバイオメカニクス指標を比較検討し、得られたデータから臨床的な意義を述べた。第4章では本論文の総括を述べた。

## 第 1 章 序論

### 1.1 投球障害肩の疫学

投球障害肩は投球動作に起因した肩関節障害の総称である。国内における投球障害の発生率に関して、伊藤らは 10,957 名の野球選手に対する大規模調査（小学生：1,781 名，中学生：7,188 名，高校生：1,489 名，大学生：499 名）を行い，肩肘関節痛を有する選手は全体で 2,799 名（25.6%）であり，年齢が上がるにつれて，障害発生率が高い傾向（小学生 12.8%，中学生 25.0%，高校生 35.0%，大学生 51.5%）であったことを報告している(伊藤 et al 2009)。また，野球選手の肩関節痛の発生割合は高校生（50.6%）や大学生(63.6%)で高くなる傾向があった(伊藤 et al 2009)。また，アメリカの高校および大学野球選手計 4,111 件の障害調査において，肩障害の発生率は高校生 18.5%，大学生 18.7%であり，大学生においては障害部位の中で，肩が最も多かったことが報告されている(Wasserman et al 2019)。MLB の選手を対象とした報告では肩障害が 30%と他の上肢部位に比較して最も障害発生率が高かったことが報告されている(Fares et al 2020)。以上のことから，肩関節障害の発生率が高い大学やプロレベルの野球選手における投球障害肩を予防することは喫緊の課題である。

### 1.2 投球障害肩に対する治療効果とスポーツ復帰

投球障害肩に関与する部位は棘上筋や棘下筋などの回旋筋腱板，関節唇，上腕二頭筋

腱、関節包などが挙げられる(Burkhart et al 2003, 2003; Kibler et al 2013). これらの障害部位に対する治療について, Ramkumar らは運動器障害を有する野球選手 1890 名のうちの 73%は保存療法(理学療法)を実施していることを報告している(Ramkumar et al 2019). また, 肩腱板損傷や関節唇損傷などの肩関節障害に対しては, 保存療法が有効であることが報告されている(Edwards et al 2010; Kuhn et al 2013; Kukkonen et al 2014).

しかしながら, 投球障害肩が重症化すると保存療法の治療効果が得られない. このようなケースでは手術療法が必要となる(Edwards et al 2010). Chalmers らによると, 野球選手における肩関節の外科的手術を行った部位の約 70%は肩関節唇, 約 30%は腱板であったことを報告している (Chalmers et al 2019). このことから, 投球障害肩の重症化は肩関節唇や腱板のような軟部組織に生じるといえる.

野球選手に対する肩関節外科的手術後のスポーツ復帰に関して, 手術部位として最も多い前後上方の関節唇 (SLAP) 損傷に対する術後のスポーツ復帰期間は約 9 カ月であり, スポーツ復帰率は 70%であることが報告されている(Thayaparan et al 2019). さらに, 元のパフォーマンスレベルまたはそれ以上のレベルの回復率は全体の 60%であることが報告されている(Thayaparan et al 2019). このことから, 投球障害肩に対する手術療法後において, 術後の復帰期間が長期に及ぶことに加えて, パフォーマンスの回復まで考慮すると, スポーツ復帰率は十分とは言えない.

これらの知見から, 野球選手の長期間にわたる競技離脱や投球パフォーマンスの低下

を避けるためには、投球障害肩の発症やその重症化を未然に防ぐことが重要である。障害を予防するためには、健常な状態（痛みのない状態）の時から、投球障害肩の発症リスクを高める肩関節の機能障害（第1章5節；第1章8節）を定期的に評価することが必要不可欠である。

### 1.3 肩関節機能における肩甲骨の役割

投球障害肩の発症に関連する肩関節機能を評価する上で、肩関節の構造と運動学的な特徴を理解することが重要である。

肩関節は上腕骨頭に対して関節窩が小さいため、非常に大きな可動域を持つ一方で不安定な構造である (Apreleva et al 1998; Terry & Chopp 2000)。また、肩関節は上腕骨、肩甲骨、鎖骨で構成されており、それぞれの骨が協調して動くことで、投球動作のようなオーバーヘッドスポーツにおける肩関節の広範囲な運動を行うことが可能である (Wilk et al 2002)。特に、肩甲骨の運動は投球動作中のダイナミックな肩関節運動が生じるために重要である。肩関節機能における肩甲骨運動の重要な機能としては、①上腕骨の運動に対応した肩甲骨の適切な運動(Kibler 1998; 山口 & 筒井 2009)、②胸郭上に肩甲骨を安定させる(Kibler 1998)ことが挙げられる。

#### ① 上腕骨の運動に対応した肩甲骨の適切な運動

肩関節運動中の上腕骨の動きに対応した肩甲骨の動きの調整は一定のリズムをもっ

て生じる。これを肩甲上腕リズムという(Scibek & Carcia 2012)。肩甲上腕リズムは肩関節屈曲と外転運動中に上腕骨の挙上と肩甲骨上方回旋が約 2:1 の割合で生じることが報告されている(Scibek & Carcia 2012)。例えば、肩関節挙上 180°において、肩甲上腕関節挙上 120°に対して、肩甲骨上方回旋が 60°生じる。肩関節の三次元上の運動が生じる投球動作において、前額面上の動きである肩甲上腕関節外転と肩甲骨の上方回旋が約 2:1、水平面上の動きである肩甲上腕関節水平内転と肩甲骨の内旋が 4:1 で生じることが報告されている(Konda et al 2015)。この上腕骨の運動にともなう肩甲骨運動の一定のリズムは、肩甲上腕関節（上腕骨頭）の過剰な動きを抑制することに寄与する(Miyashita et al 2010; Suzuki et al 2019)。一方で、肩甲上腕関節の過剰な運動は上腕骨頭の偏位を引き起こし、肩関節障害のリスクを高めることが報告されている(Burkhart et al 2003, 2003; Kibler et al 2013; Mihata et al 2004; Mihata et al 2010)。

## ② 胸郭上における肩甲骨の安定性

上腕骨運動の基盤となる肩甲骨は、胸郭上を浮遊しており、胸郭の骨と肩甲骨間の関節が無い場合、骨性の支持が得られない。このため、肩関節の運動中において、肩甲骨の周囲に付着する筋群により、肩甲骨の安定性が担保されている(Jildeh et al 2021)。肩甲骨の周囲筋による肩甲骨の安定性には主に前鋸筋、僧帽筋中部・下部線維が寄与する(Gracitelli et al 2014; Roche et al 2015)。前鋸筋と僧帽筋中部・下部線維が協調して活動す

ることで、肩甲骨の上方回旋、外旋、後傾に作用する(Gracitelli et al 2014; Roche et al 2015).

この協調的な筋活動により、肩関節の運動中に肩甲骨の内側縁と下角が胸郭上で安定（胸郭から肩甲骨が浮き上がらない状態）することができる(Jildeh et al 2021; Kibler et al 2013; Roche et al 2015). また、前鋸筋と僧帽筋中部・下部線維の作用である肩甲骨の上方回旋、外旋、後傾は肩峰と上腕骨間で構成される肩峰骨頭間の距離を拡大させ、肩峰下インピンジメントを防ぐことにも貢献する(Ludewig & Cook 2000; Seitz et al 2012; Thigpen et al 2006).

仮に、前鋸筋や僧帽筋中・下部線維などの肩甲骨周囲の筋機能が低下すると、肩甲骨の上方回旋、外旋、後傾の運動が低下し、肩甲骨の内側縁や下角の突出や肩峰下インピンジメント、肩関節痛を惹起する(Burkhart et al 2003; Huang et al 2020; Huang et al 2015; Jildeh et al 2021; Kibler et al 2013; Ludewig & Cook 2000; Seitz et al 2012; Thigpen et al 2006). また、肩甲骨の運動の低下が生じると、肩甲上腕関節の運動にともない、上腕骨頭の過剰な偏位が生じる(Mueller et al 2013). このように、肩甲骨の運動に異常を呈することで、肩関節の不安定症や肩峰下・関節内インピンジメント症候群、腱板損傷などの肩関節疾患の発症リスクが増大する(Burkhart et al 2003; Jildeh et al 2021; Kibler et al 2013; Longo et al 2020). 先行研究では、肩甲骨の運動異常はオーバーヘッドスポーツ選手や肩関節疾患を有する患者で多く生じることが報告されている(Burkhart et al 2000; Burn et al 2016; Carnevale et al 2019; Huang et al 2015; Kibler 2012; Paletta et al 1997).

#### 1.4 肩甲骨の運動異常の疫学

肩甲骨の運動異常（scapular dyskinesis；SD）は Kibler により肩甲骨の位置，運動が正常から逸脱した状態であると定義された(Kibler 1998). SD は①筋の柔軟性や筋力低下，疼痛などの肩関節の機能低下，②前鋸筋を支配する長胸神経の損傷などの神経学的な問題(Berthold et al 2017; Brown & Stickler 2011; Kibler et al 2012)，③胸椎後彎姿勢(Gumina et al 2008; Ootoshi et al 2014)などの肩甲骨以外の骨関節の問題に起因して引き起こされる(Longo et al 2020). これらの原因の中でも筋の柔軟性の低下や筋力低下などの肩関節機能の異常が SD を引き起こす最も多い要因である(Kibler & Sciascia 2016; Kibler et al 2012). 肩甲骨周囲筋の中でも小胸筋の柔軟性低下は肩関節の挙上運動中の肩甲骨の後傾，外旋を低下させる(Provencher et al 2017). また，僧帽筋下部の筋力低下は SD に関連する(Rabin et al 2020). このように，肩甲骨周囲筋の柔軟性の低下や筋力低下は肩甲骨運動の異常をもたらす.

SD の発生の特徴について，SLAP 損傷，肩峰下インピンジメント症候群，肩関節不安定症，肩鎖関節損傷などのさまざまな肩関節疾患を有する患者の 68-100%で認められることが報告されている(Burkhart et al 2000; Linaker & Walker-Bone 2015; Paletta et al 1997; Warner et al 1992). 一方で，SD は肩に症状のないケースにおいても発生する(Pluim 2013). Burn らは有無症状を含めたオーバーヘッドスポーツ選手（バレーボール，野球，水泳，ハンドボール，水球など）の SD の発生率（約 55%）は，非オーバーヘッドスポーツ選

手(約 33%)に比して高いことを報告している(Burn et al 2016). また, Standoli らは 661 名の無症状の水泳選手 (男性 344 名, 女性 317, 平均年齢  $16 \pm 2$  歳) の SD の発生率は約 9% (56 名) であったことを明らかにしている(Preziosi Standoli et al 2018). 日本人野球選手における無症状の SD の発生状況を報告した研究は少ないが, その中でも Shitara らは健常な日本人高校野球選手 84 名 (15~17 歳) の SD の発生率は約 20% (17 名) であったことを報告している (Shitara et al 2017).

以上のことから, SD は肩痛の症状を呈する肩関節疾患のみならず, 症状がないオーバーヘッドアスリートにおいても発生する.

### 1.5 肩甲骨の運動異常と肩関節障害の関連

SD は肩関節痛を引き起こす潜在的な危険因子であると報告されている(Burkhart et al 2003; Ellenbecker & Cools 2010; Kibler et al 2013). SD と肩関節痛の発生リスクの関連について, 近年のメタアナリシスの報告によると, SD を有するものは有さないものと比較して肩痛の発症リスクが 43% 高いことが報告されている(Hickey et al 2018). また, Kawasaki らはラグビー選手を対象としたシーズン前の SD の発生とシーズン中の肩痛の発生の関連性を検討し, シーズン前に SD (肩甲骨の過剰な挙上) を有する選手はシーズン中に肩痛を発症する確率がオッズ比 1.93 であったことを報告している(Kawasaki et al 2012).

以上のことから、無症状の SD は将来的に肩関節障害の発生確率が増加することが明らかにされている。しかしながら、従来の研究において、投球障害肩の高い発生率を有する大学やプロレベルの日本人野球選手における SD の発生状況は明らかになっていない。

## 1.6 投球動作のパフォーマンスとバイオメカニクス

投球動作のパフォーマンスは、近位セグメントの体幹で生成したエネルギーが遠位セグメントの投球側上肢に効率よく伝達されることで発揮される(Kibler et al 2013)。この近位から遠位のエネルギー伝達を効率的に行うために、投球側上肢の中でも肩関節運動が重要な役割を担う(Burkhart et al 2003; JR 2001; Kibler et al 2013; Oliver & Weimar 2015)。Kibler は投球パフォーマンスに関与する重要な肩関節機能として、①肩甲骨による近位セグメントと遠位セグメントの機能的連結②肩関節の外旋運動を挙げている(Kibler et al 2013)。

### ① 肩甲骨による近位セグメントと遠位セグメントの機能的連結

肩甲骨の役割は近位セグメントである体幹と遠位セグメントである上腕を構造的かつ機能的に接続することである(Kibler et al 2013; Oliver & Weimar 2015)。この肩甲骨の役割により、投球動作などのオーバーヘッドスポーツ動作中に、近位セグメントで生成したエネルギーが遠位セグメントに効率的に伝達され、ボールを把持する手部の運動が

加速される。このような肩甲骨の正常な機能により、オーバーヘッドスポーツ動作におけるパフォーマンスが最大限に発揮される。一方で、SD を有すると、近位から遠位セグメントのエネルギー伝達が制限され、投球パフォーマンスを低下させる (Burkhart et al 2003; Kibler et al 2013)。また、Kibler は、近位のセグメントの体幹の運動エネルギーの低下が投球パフォーマンスを低下させることを報告している (Kibler 1995)。すなわち、体幹部などの近位セグメントから肩甲骨を介した投球側上肢へのエネルギー伝達不足は投球パフォーマンスを低下させると考えられる。

## ② 肩関節の外旋運動

投球のパフォーマンスを最大限に発揮するには肩関節外旋の動きを増やすことが重要である (JR 2001; Kibler et al 2013; Wang et al 1995)。投球中の肩関節外旋の動きは、投球動作の指導現場では「腕のしなり」とも表現されている (松尾 et al 2013)。投球動作の位相はワインドアップ期、前期コッキング期、後期コッキング期、加速期、減速期の 5 つのフェーズから構成される (Fleisig et al 1995; Jobe & Bradley 1988)。特に後期コッキング期では、肩関節の外旋運動が約 158～178°生じる (Aguinaldo & Chambers 2009; Fleisig et al 2006; Nissen et al 2007; Sabick et al 2004; Werner et al 2007)。この広範囲な肩関節外旋運動により大胸筋や肩甲下筋などの肩関節の内旋筋が伸張されることで、弾性エネルギーが産生される (Roach et al 2013)。肩関節の内旋筋で生成される弾性エネルギー

により、加速期に生じる  $6180^{\circ}/\text{秒}$  に及ぶ非常に高速な肩関節の内旋運動が生じる(Pappas et al 1985). このように投球動作では、広範囲な肩関節の外旋運動が繰り返して生じるため、野球選手の肩関節機能には投球にともなう適応が生じている(Hasegawa et al 2021; Hibberd et al 2014; Keller et al 2015; Kibler et al 2013). この適応により、野球選手の投球側の肩関節外旋可動域は非投球側に比較して増加している(Hasegawa et al 2021; Hibberd et al 2014; Keller et al 2015; Kibler et al 2013; Wilk et al 2002). この要因として、投球動作による肩関節外旋運動の繰り返しにより、上腕骨の後捻角の変化(Helmkamp et al 2020; Thomas et al 2020)、肩関節前方関節包の弛緩性(Mihata et al 2004; Weiser et al 1999)、肩甲骨の関節窩の形態変化(Wyland et al 2012)などが挙げられる。これらの要因による投球動作中の肩関節外旋の拡大は投球パフォーマンスを向上させることが報告されている(Roach et al 2013).

加えて、投球動作のパフォーマンスと肩関節運動との関連において、投球動作中の肩関節の最大外旋角度と球速には正の相関関係があることが報告されている(Wang et al 1995). また、球速の速い選手は遅い選手と比較して、投球中の肩関節の最大外旋角度が大きいことから、肩関節の外旋の柔軟性は球速を向上させるための重要な機能である(Wight et al 2020). 以上のことから、投球パフォーマンスを向上させるためには、投球動作中の肩関節の外旋運動を高めることが非常に重要である。

## 1.7 投球動作における肩関節のバイオメカニクスと投球障害

投球パフォーマンスに関連する肩関節の外旋運動は投球障害の発生にも関与する。投球動作中の肩関節最大外旋時（Maximal Shoulder joint External Rotation Period：MER）において、肩関節には 380N の前方剪断力が生じるため、投球障害の発症リスクが高いフェーズであることが報告されている(Fleisig et al 1995)。また、Burkhart らや Kibler らは、MER における肩関節の運動異常（過剰運動）は肩関節の力学的なストレスを増加させることを言及している(Burkhart et al 2003; Kibler et al 2013)。新鮮解剖遺体を用いた肩関節のバイオメカニクス研究においても、MER に近似した肩関節の過剰な外旋は、肩関節の前方不安定症(Mihata et al 2004)や関節内インピンジメント(Mihata et al 2010)、SLAP 損傷(Kuhn et al 2003; Pradhan et al 2001)、腱板損傷(Takagi et al 2014)の発生要因となる力学的ストレスを増加させることが明らかになっている。以上のことから、投球動作における肩関節の外旋運動は投球パフォーマンスに寄与する一方で、過剰な運動を呈すと投球障害を引き起こす危険因子にもなる。

## 1.8 肩関節の機能障害と投球動作中の肩関節のバイオメカニクスの関連

投球動作中の肩関節の過剰な外旋などの肩甲上腕関節の運動異常（glenohumeral dyskinesis: GHD）や肩甲骨の運動異常（SD）は肩関節の力学的ストレスを増加させる(Burkhart et al 2003, 2003; Mihata et al 2010)ことから、野球選手における肩関節障害のほ

とんどもは投球動作の反復によるオーバーユースによって生じている (Wasserman et al 2019). このため、障害予防の観点から、投球動作解析を行うことは非常に重要であると考えられている (Fleisig et al 1995). しかしながら、スポーツ現場や病院などのリハビリテーションの臨床現場では、三次元動作解析装置のような高価な機器による解析ができない。このため、実際の現場では、投球動作中の高速かつダイナミックな肩関節運動を評価することは非常に困難である。そこで、理学療法士などの臨床家は投球動作中の GHD や SD と関連性の高い肩関節の機能障害を適切に評価することで、観察困難な投球動作中の GHD や SD を推測することにより、リハビリテーションを実施することが重要であると考えられている。以上のことから、野球選手に対して適切な障害予防やリハビリテーション、トレーニングを行うためには、投球障害の発生リスクを高める肩関節の機能障害と投球動作中の肩関節のバイオメカニクスとの関連性を明らかにする必要があると考えられる。

投球障害の要因である肩関節の可動域低下、筋力低下などの肩関節の機能障害は肩関節運動中の上腕骨頭の過剰な偏位を引き起こし、肩関節障害の発症リスクを高めることが多数報告されている (Mihata et al 2015; Tyler et al 2010; Wilk et al 1997; Wilk et al 2002). また、肩関節の機能障害は投球動作中の肩関節の運動や負荷を変化（増減）させることが報告されている (Burkhart et al 2003; Chou et al 2018; Khalil et al 2021; Laudner et al 2021; Nakamizo et al 2008; Smith et al 2019). 野球選手における肩関節の機能障害の中でも

Glenohumeral Internal Rotation Deficit (GIRD：肩関節の内旋可動域の左右差) (Chou et al 2018; Khalil et al 2021; Smith et al 2019)や肩関節の水平内転の可動域制限 (Laudner et al 2021), 肩関節外旋の筋力低下(Harding et al 2018; Wasserberger et al 2020)は投球中の肩関節負荷を増加させる要因となる。また、投球動作以外のオーバーヘッドスポーツ動作において、テニスサーブ中の肩甲骨のバイオメカニクス変化と肩甲骨の機能障害である僧帽筋下部線維の筋力低下は関連していることが報告されている(Gillet et al 2019)。しかしながら、野球選手の発生率が高く、肩関節障害の発症リスクを増大させる SD が投球動作中の肩関節のバイオメカニクスに変化を引き起こすかどうかについては、著者が渉猟する限り明らかになっていない。

## 1.9 本研究の目的

以上の文献レビューより、従来の研究では日本人の大学野球やプロレベルの野球選手における SD の発生状況や SD と投球動作の肩関節のバイオメカニクス変化との関連性は明らかになっていない。投球障害肩の高い発生率を有する大学およびプロレベルの野球選手における SD の発生状況や SD と投球動作中の肩関節の運動学や動力学的変化の関連性を明らかにすることは、野球選手を含めたオーバーヘッドスポーツ選手に対する肩関節障害に対する予防やリハビリテーション、トレーニングに寄与する重要な知見になると考えられる。

以上のことから、本研究の目的は①大学およびプロレベル（独立リーグレベル）の野球選手の SD の発生状況と、②SD を有する野球選手の投球動作中の肩関節の運動学的・動力学的な変化を明らかにすることとした。

## 第2章 野球選手における肩甲骨の運動異常の評価と 発生状況の検討

### 2.1 はじめに

肩甲骨の運動異常（SD）は野球選手の発生率が高く、肩関節障害の発生リスクを高める危険因子である(Burkhart et al 2003; Burn et al 2016; Ellenbecker & Cools 2010; Kibler et al 2013; Shitara et al 2017). このため、投球障害肩の発生数が多い大学やプロレベルの野球選手における SD の評価は投球パフォーマンスの低下や肩関節障害の発生を適切に予防する上で非常に重要である.

SD の評価方法として簡便性、信頼性の高い肩甲骨の運動異常テスト（SDT）がある.(Burn et al 2016; Huang et al 2015; Huang et al 2015; Kibler et al 2002). SDT は肩関節の挙上と下制動作中に一定の負荷をかけることによって、SD を検出する評価方法のひとつである. SDT の具体的な方法は被験者に 2~3kg 程度の重錘を両側に把持させ、両側の肩関節の挙上、下制動作を 5~10 秒かけて行わせ、その際に身体の後方から視覚的に肩甲骨の動きを観察して運動の異常の有無を評価する(Huang et al 2015; Kawasaki et al 2012; Kibler et al 2002). SDT の評価基準は、SD の有無を 2 つに分類する方法(Beckett et al 2014)や、肩甲骨運動の異常の程度を正常（normal）、軽度の異常（subtle abnormality）、重度の異常（obvious abnormality）の 3 つに分類する方法（McClure et al 2009）、SD の特徴を 4 type に分類する方法がある(Kibler et al 2002). ただし、Beckett らや McClure らの方法

は SD の有無やその程度を評価する方法であることから、SD の詳細な特徴を評価することが困難である (Beckett et al 2014; McClure et al 2009)。一方、Kibler らの SD の type I～IV の 4 type の分類に関して、type I は肩甲骨の下角の突出、II は内側縁の突出、III は過剰な挙上や上方回旋、IV は I～III の徴候なしとそれぞれ定義されており、SD の特徴を詳細に評価することができる (Kibler et al 2002)。

SD における 4 type の肩甲骨運動の特徴について、type I は肩甲骨前傾の増加 (Burkhart et al 2003; Huang et al 2015)、type II は肩甲骨内旋の増加 (Burkhart et al 2003; Huang et al 2015)、type III は肩甲骨の過剰な挙上や上方回旋 (Burkhart et al 2003; Kibler et al 2013) が認められる。type IV は type I～III で生じる肩甲骨の運動異常が認められない状態であり (Huang et al 2015; Kibler et al 2002)、肩甲骨の正常な運動の状態を指す。それぞれの SD の type 別の原因について、type I と II は小胸筋の柔軟性低下や前鋸筋、僧帽筋下部の筋力低下 (Kibler et al 2013)、type III は僧帽筋上部と下部の筋活動の不均衡 (Burkhart et al 2003) が影響しているとされている。このように、SD の 4 type 分類の利点は SD を詳細に分類し、その原因を特定することで、適切な治療を選択できることであると考えられている (Ellenbecker & Cools 2010; Huang et al 2015; Kibler et al 2013)。以上のことから、SD の 4 type 分類は臨床的に有用性が高い評価方法である。

SD の 4 type 分類における発生率に関して、Kawasaki らは 103 名のエリートラグビー選手を対象として SD を分類したところ、SD I～III の中で (type IV は除く)、type III (約

70%) が最も多かったことを報告している(Kawasaki et al 2012). また, Huang らは 82 名の片側に肩関節痛を有する患者に対して SD を分類し, 肩関節の下制動作において, type II (約 30%) の発生が最も多かったことを報告している. 一方で, オーバーヘッドアスリートにおける無症状の SD の 4 type 分類の発生の特徴を示した研究はまだ十分ではなく, とくに野球選手における SD の 4 type 分類に関するデータは非常に少ない. さらに, 無症状の大学やプロレベルの日本人野球選手の SD の 4 type 分類に関する報告は, 著者が調べた限り存在しない. 野球選手における SD の 4 type の発生状況を明らかにすることは, 投球障害肩の予防やリハビリテーション, トレーニングに寄与するための重要な知見になると考えられる.

Oyama らは肩痛のない健常な野球選手における投球側の肩甲骨の姿勢は非投球側に比べて, 前傾と内旋が増加していたことを報告している(Oyama et al 2008). この先行研究の結果より, SD を有する野球選手は肩甲骨の前傾や内旋が健常な野球選手よりも増加することで, SD の type IやIIを呈するケースが多くなっていると推察される. そこで, 研究 1 の仮説は大学とプロレベル (独立リーグレベル) の野球選手における無症状の SD の発生数は肩甲骨の過剰な前傾や内旋を呈する type IやIIの SD が他の type に比較して多いとした. 研究 1 の目的は無症状の大学やプロレベルの日本人野球選手に対して, SDT を用いて SD を 4 つの type に分類することとした.

## 2.2 方法

### 2.2.1 対象

対象者は無症状の健常な野球選手 64 名（大学野球選手 58 名と日本の独立リーグに所属する野球選手 6 名）とした。本研究の計測期間は 2019～2021 年であった。対象者の除外基準は、測定日を基準に、過去 3 か月以内に肩関節痛や投球時痛を呈する者とした。なお、本研究の対象者の中に SD に影響する先天性の脊柱変形や肩関節周囲の神経麻痺を有する選手は認められなかった。本研究はヘルシンキ宣言と同志社大学の倫理審査室の承認（承認番号：18019）に基づいて実施した。また、全ての被験者には本研究の内容を十分に説明した上で同意を得た。

### 2.2.2 対象者の属性

対象者の基本情報について、年齢、身長、体重、body mass index (BMI)、競技歴はアンケート用紙を用いて収集した。また、対象者の身体的特徴や投球パフォーマンスを評価するために両側の肩関節の内外旋可動域 (ROM) と球速を計測した。肩関節の内外旋 ROM は先行研究の方法に準拠し、仰臥位、肩関節外転 90°位、肘関節屈曲 90°位の状態で測定した(Wilk et al 2011)。また、球速はスピードガン(Sports Radar Ltd. SRA3000, FL, USA)を用いて計測した。

### 2.2.3 肩甲骨の運動異常の評価

本研究における投球側における SD の評価は SDT を用いた(Huang et al 2015; Kawasaki et al 2012; Kibler et al 2002). 先行研究より, SDT の信頼性は Kappa 係数 0.76 であることが報告されている(Kawasaki et al 2012). SDT において, 被験者は 2kg の重錘を両側で把持し, 両側の肘関節を伸展位にした状態で肩関節の最大屈曲と外転運動を計 3 周期ずつ実施した (図 1). また, 肩関節運動の速度は挙上 3 秒, 下制 3 秒とした. SDT 中の肩甲骨の運動は胸郭の後方からデジタルビデオカメラ (FDR-AX60, Sony Group Corp., Tokyo, Japan)を用いて撮影した. なお, SDT における投球側の肩甲骨運動の評価は整形外科理学療法領域に精通した 2 名の理学療法士により実施した. 本研究の対象者は 2 名の検者による SD の評価が合致したケースとした. 合致しなかったケースは本研究の対象者から除外した. なお, 2 名の理学療法士の SD 評価における検者内信頼性は, kappa 係数を用いて算出した. 算出したデータの信頼性の程度は almost perfect (kappa 係数 0.81 ~ 1.00) , substantial (0.61 ~ 0.80), moderate (0.41 ~ 0.60) , fair (0.21 ~ 0.40) , slight (0.00 ~ 0.20) の段階に基づいて評価した(Landis & Koch 1977).

### 2.2.4 肩甲骨の運動異常の分類

本研究の SD の評価基準において, Kibler らと Huang らの SD の type 分類を用いて実施した(Huang et al 2015; Kibler et al 2002) (図 2). SD の type は SDT 中の次の肩甲骨運

動の特徴に基づいて分類した(Huang et al 2015). type I : 肩甲骨の下角 (肩甲骨内側縁の下 1/3) の突出 ; type II : 肩甲骨の内側縁の突出 (肩甲骨の内側縁の上 2/3) ; type III : 肩甲骨の過剰な挙上と上方回旋 ; type IV : type I~IIIに該当しない場合 (正常な肩甲骨運動) (図 2). なお, それぞれの SD type が混在しているケースでは混合 type (例 : type I + II など) として評価した(Huang et al 2015).

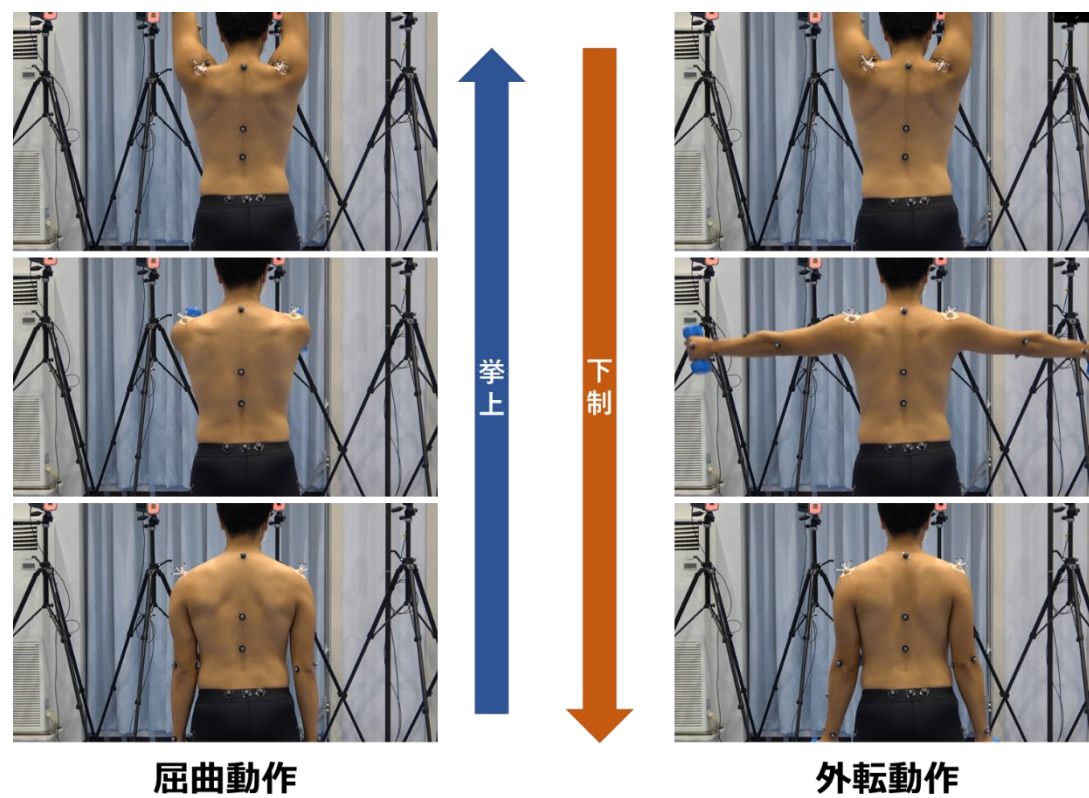


図1 肩甲骨の運動異常テスト

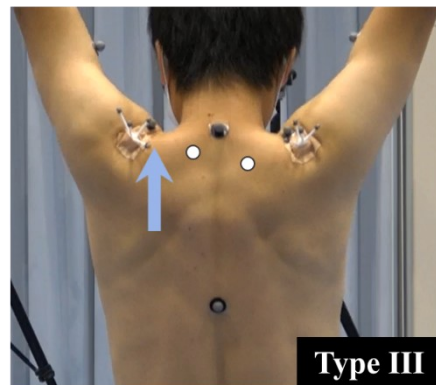
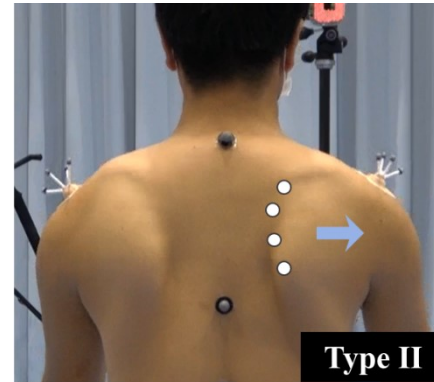
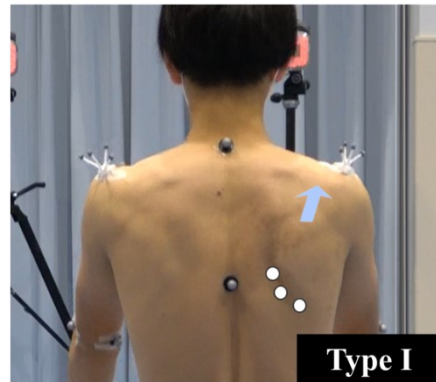


図2 肩甲骨の運動異常の4 type 分類

## 2.3 結果

SDT 中における SD の type 分類の検者間の一致度は 79.7%(51/64, カップ係数:0.77)であり, 検者間信頼性の程度は十分 (substantial) であった. このことから, 本研究の対象者は検者間の評価が一致した 51 名とした.

対象者の体格 (身長, 体重, BMI), 競技歴, 投球側と非投球側の肩関節内旋/外旋 ROM, 球速の結果を表 1 に示した (表 1).

本研究の SD の発生状況に関して, 表 2 と 3, 図 3 に示した (表 2, 3, 図 3).

本研究における投球側の SD (type I~IIIを含む) の発生数は 26/51(51%)名であった. 一方で, SD のない正常な肩甲骨運動を有するもの (type IV) は, 25/51 名(49%)であった. SD の 4 type 分類の結果, type I (混合 type も含む) は 24/51 名 (47%), type IIは 9/51 名 (18%), type IIIは 6/51 名 (12%) であった. また, それぞれの SD の 4 type の内訳として, type Iのみは 12/51 名 (24%), type IIのみは 0/51 名 (0%), type IIIのみは 2/51 名 (4%), type I+II 8/51 名 (16%), type I+III 3/51 名 (6%), type I+II+III 1/51 名 (2%) であった. なお, SDT 中に肩痛を訴えた対象者は認められなかった.

以上の結果から, 大学~独立リーグレベルの野球選手における投球側の SD の特徴として, 肩甲骨運動が正常である type IVを有する選手が最も多く, 次いで, type Iを含むケースが多かった.

表

表 1 対象者の基本データ

年齢 [歳]	20 ± 2
身長 [cm]	176 ± 6
体重 [kg]	76 ± 7
BMI	24 ± 2
競技歴 [年]	12 ± 2
利き腕 [名]	
右	40
左	11
ポジション [名]	
投手	38
捕手	3
内野手	7
外野手	3
肩関節内旋可動域 [deg]	
投球側	35 ± 12
非投球側	50 ± 14
左右差（投球側－非投球側）	-15 ± 13
肩関節外旋可動域 [deg]	
投球側	111 ± 9
非投球側	101 ± 8
左右差（投球側－非投球側）	10 ± 8
球速 [km/h]	112 ± 7
平均 ± 標準偏差	
BMI, body mass index	

表 2 投球側の肩甲骨の運動異常の発生状況（異常の有無）

	SD あり	SD なし
発生数 [名]	26	25
発生率 [%]	51%	49%

SD; Scapular dyskinesis

SDあり; type I - III

SDなし; type IV

表3 野球選手における投球側の肩甲骨の運動異常の発生状況（4 type 分類）とその内訳

	Type I	Type II	Type III	Type IV
発生数 [名]	24	9	6	25
発生率 [%]	47	18	12	49

	Type I	Type I + II	Type I + III	Type III	Type I + II + III	Type IV
発生数 [名]	12	8	3	2	1	25
発生率 [%]	24	16	6	4	2	49

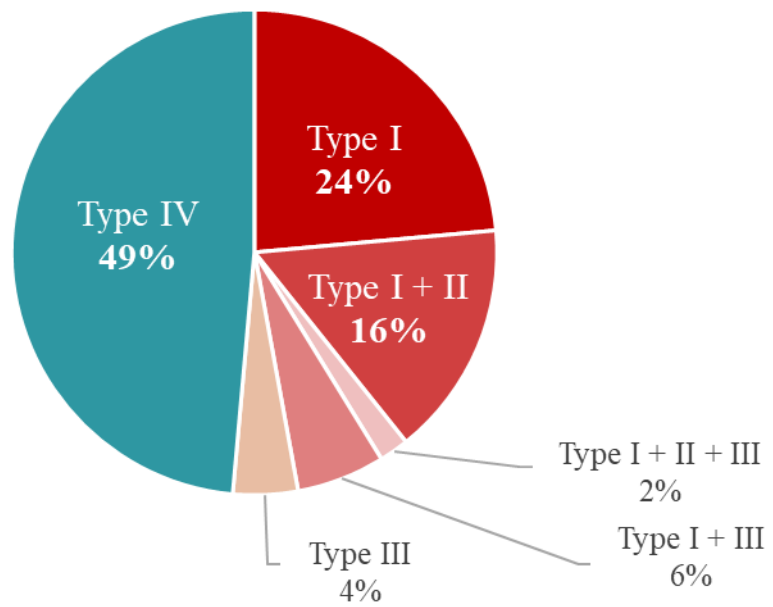


図3 野球選手における投球側の肩甲骨の運動異常の発生状況（4 type 分類）

## 2.4 考察

### 2.4.1 本研究の結果の概要

本研究の目的は大学とプロレベル（独立リーグレベル）の野球選手に対する肩関節障害の予防やリハビリテーション，トレーニングに貢献する知見を明らかにするために，無症状の野球選手における肩甲骨の運動異常（SD）を 4 type に分類することであった。本研究の結果，大学とプロレベルの野球選手を合わせた投球側の SD（type I～III）の発生率は 51%（26/51）であった。また，SD の 4 type 分類において，type I（肩甲骨下角の突出）の発生率は 47%であり，他の SD type（type IVは除く）よりも多かった。本研究の仮説は，無症状の野球選手の SD の発生数は肩甲骨の過剰な前傾や内旋をきたす SD type IとIIが他の type に比較して多いとしていた。以上のことから，本研究の結果においては，仮説の一部（type Iに関して）を支持するものであった。

### 2.4.2 肩甲骨の運動異常テストの検者間信頼性

本研究で用いた肩甲骨の運動異常テスト（SDT）中における SD の type 分類の検者間の一致度は 79.7%（51/64，カッパ係数：0.77）であり，検者間信頼性の程度は十分（substantial）であった。Kawasaki らや Kibler らは SDT 評価の一致度におけるカッパ係数はそれぞれ 0.76，0.42 であったことを報告している(Kawasaki et al 2012; Kibler et al 2002)。このことから，本研究における SDT の検者間の信頼性は先行研究よりも良好な

精度で評価できていた。

以下に本研究と先行研究における SD の発生率を比較する。SD に関するレビューを表 5 にまとめた。

#### 2.4.3 本研究と先行研究の肩甲骨の運動異常の発生率の比較（異常の有無）

本研究における大学と独立リーグレベルを合わせた野球選手の無症状の SD の発生率は 51%であった（表 2,5）。Burn らは 1257 名（平均年齢  $24 \pm 7.9$  歳）のオーバーヘッドスポーツ選手（野球、バレー、水泳、ハンドボール、ラグビーなど）の SD の発生率が 54.5%であったことを報告している(Burn et al 2016)。なお、Burn らの報告では、競技レベルに関する詳細な記載はなかった。無症状の SD の発生率に関して、オーバーヘッドスポーツ選手の中でも、高校野球選手は 20%(Shitara et al 2017)（表 4：8 行目）、日本のトップリーグに所属するラグビー選手は 30%(Kawasaki et al 2012)（表 4：6 行目）、高校～大学レベルの水泳選手は 0～32%(Madsen et al 2011; Tate et al 2012)（表 4：5, 7 行目）、プロレベルのハンドボール選手 62%(Clarsen et al 2014)（表 4：2 行目）であったことが報告されている。以上より、本研究における野球選手の SD の発生率はハンドボール選手を対象とした Clarsen らの報告よりも低い。他レベルの野球選手やその他のオーバーヘッドスポーツ選手に比べて、高かった。ここで、先行研究より野球選手における SD は、投球動作中の肩関節運動の反復により生じていると報告されている(Beckett et al

2014). Beckett らは投球パフォーマンスレベルの異なる前青年期 ( $9.9 \pm 1.5$  歳) と青年期 ( $15.1 \pm 1.3$  歳) の野球選手を対象に SD の発生率を比較検討した。その結果から、前青年期の野球選手よりも高いパフォーマンスレベルに相当する青年期の野球選手は、前青年期の野球選手よりも SD の発生率が高いことが報告されている(Beckett et al 2014)。

Beckett らは、パフォーマンスレベルの高い選手(青年期)は野球の競技歴が長く、投球動作中の肩関節運動の反復により、投球側の肩関節に適応が生じ、これらの結果として、SD の発生数が増加したと言及している(Beckett et al 2014)。ここで、投球動作にともなう肩関節の適応には、投球側の肩関節外旋の増大(Hasegawa et al 2021; Hibberd et al 2014; Keller et al 2015; Wilk et al 2002)や、投球側の肩甲骨の前傾や内旋の増大(Oyama et al 2008)などが挙げられる。前述した投球動作による肩関節の適応の中で、肩甲骨の前傾や内旋の増大は、投球パフォーマンスに関連する加速期の肩関節の内旋や水平内転運動を引き起こすために必要不可欠な状態であると考えられている(Burkhart et al 2003; Keller et al 2015; Konda et al 2015; 宮下 et al 2018)。一方で、投球動作にともなう肩関節の適応は、肩関節障害の発症に関連する投球側の肩甲骨の後傾と外旋、上方回旋の低下も引き起こす(Laudner et al 2013; Oyama et al 2008; Park et al 2020; Thomas et al 2010)。このような肩甲骨運動の低下は SD を引き起こし、肩関節障害の発症リスクを高める要因になると報告されている(Beckett et al 2014; Helmkamp et al 2020; Laudner et al 2013; Thomas et al 2010)。

以上のことから、反復した投球動作にともなう肩関節の適応は、投球パフォーマンスを

高める一方で、SD を引き起こすため、肩関節障害の発症リスクも増加させると考えられる。なお、SD と肩関節障害の関連の詳細は、2 章 4 節 5 項で述べる。

以上の先行研究レビューから、本研究の対象者とした高いパフォーマンスレベルに相当する大学とプロレベルの野球選手は、反復した投球動作にともなう肩関節の適応により、他のより低いレベルの野球選手や他のオーバーヘッドスポーツ選手よりもの投球側の肩甲骨運動が低下していると考えられる。これらのことから、大学とプロレベルの野球選手は他のスポーツや他のより低いレベルの野球選手と比較して、投球動作にともなう肩甲骨運動の適応が生じている可能性が高いと考えられ、無症状であっても SD の発生が増加していたと考えられる。

#### **2.4.4 本研究と先行研究の肩甲骨の運動異常 type の発生率の比較**

次に、肩に症状を有したものを対象とした研究において、最も高い発生率を有する SD type は、スポーツにより異なり、オーバーヘッドスポーツ選手（165 名（全対象者の中で野球選手は 127 名）、89 名 178 肩（野球選手は 75 名））type I 約 41～47%(Park et al 2013; Park et al 2014)（表 4：3, 4 行目）であった。オーバーヘッドの投球動作を多用しないラグビー選手（全 103 名のうち肩痛を有する選手は 33 名）を対象とした研究では、type III 約 22%(Kawasaki et al 2012)（表 4：6 行目）であった。対照例として片側に肩痛を有するがスポーツをしていない患者（82 名）を対象とした研究では、type II 約 65%

(Huang et al 2015)であった (表 4 : 11 行目). 以上の肩に症状をとまなう SD の type 分類の報告において, 野球選手は他のオーバーヘッドスポーツ選手やスポーツをしていない人と比較して, type I (肩甲骨前傾の増加) の発生率が高かった. Type Iにとまなう肩甲骨前傾の増加は肩甲骨の周囲筋である僧帽筋上部線維や肩甲挙筋の筋活動の増加に関連することが報告されている(Laudner et al 2006). この僧帽筋上部線維や肩甲挙筋の筋活動は投球動作中の加速期に増加し, 加速期の投球パフォーマンスに関連する肩関節内旋速度の増加に貢献する(Bullock et al 2021; Digiovine et al 1992). これらの知見より, 野球選手における SD type Iは投球動作における加速期に生じる 6180°/秒に及ぶ高速な肩関節の内旋運動(Pappas et al 1985)にとまなう肩甲骨の前傾運動の反復による肩関節の適応が影響していると考えられる(Myers et al 2006).

無症状の選手を対象とした本研究における type Iと type II, type IIIの内訳は, type Iの発生率が 47%であり, type II, type IIIよりも高かった (表 3,5). これは, 比率は異なるが, type Iの発生率が高い点は, 有症状のオーバーヘッドスポーツ選手を対象とした研究と同様であった. 本研究と同様に無症状の選手を評価した研究では, 無症状の水泳選手(661 名:SD あり 56 名, SD なし 605 名)の type Iは全対象の中で約 3%(Preziosi Standoli et al 2018)であった (表 4 : 9 行目). 先行研究のレビューと本研究データにより, スポーツの実施の有無やスポーツ競技別で SD type の発生特性が異なることと, SD type の発生には競技動作における特定の肩関節運動の反復(野球の投球動作では肩関節の内外旋

運動が相当する) が影響している可能性が示唆された。

#### 2.4.5 肩甲骨の運動異常テストの有用性

次に、SD を有する無症状の野球選手に対して SDT を実施することの有用性について述べる。206 名のエリート男性ハンドボール選手を対象とした Clarsen らのコホート研究では、無症状の SD を有する選手は、肩関節痛の発症リスクがオッズ比 8.4 であったことが報告されており (Clarsen et al 2014)、無症状の SD は将来的に肩関節障害の発症するリスクが高いと知られている。また、前述した有症状の野球選手を含めたもの (プロレベル: 27 名, 大学レベル: 20 名, 高校レベル: 43 名, 中学レベル: 31 名, 小学レベル: 1 名) を対象とした Park らの報告では、165 名のうち約 145 名 (全体の約 88%) が SD を有していたことが報告されている (Park et al 2014)。その内訳は、SD 4 type の発生数に関して、type I 75/165 名 (45.5%), type II 46/165 名 (27.9%), type III 24/165 名 (14.5%), type IV 20/165 名 (12.1%) であった (Park et al 2014)。比率で見ると、有症状の野球選手における SD の発生率は肩甲骨運動が正常なもの (type IV) の発生率に比べて、約 7.3 倍増加していた (Park et al 2014)。なお、Park らの報告では、対象者の中に大学レベル未満のパフォーマンスを有する野球選手 (高校, 中学, 小学レベル) も含んでおり、本研究の対象者 (大学とプロレベル) と対照的に幅広いパフォーマンスレベルにおける SD のデータであった。大学とプロレベルの無症状の野球選手を対象とした本研究結果は、

SD の発生率は、全体の 51%であり、正常な肩甲骨運動を有するもの（type IV）と同程度（1.04 倍）の発生割合であった。なお、本研究における SD 4 type 分類の内訳は type I 24/51 名（47%）、type II 9/51 名（18%）、type III 6/51 名（12%）、type IV 25/51 名（49%）であった。

無症状の SD と肩関節障害の関連性（肩関節障害の発症リスクはオッズ比 8.4）と有症状の野球選手の SD の発生（発生率は約 88%）の特徴について示したそれぞれの先行研究の結果より、本研究で対象とした SD を有する無症状の大学とプロレベルの野球選手は将来的に肩関節障害を発症する（有症状に移行する）リスクが高い状態であると考えられる。そこで、肩関節障害の発生を未然に防ぐために、SDT による SD のスクリーニング評価を定期的実施することが有用と考えられる。

#### 2.4.6 肩甲骨の運動異常の type と肩甲骨運動の関連性

野球選手の発生率が高い SD type I は、肩甲骨下角の突出を呈するが、その肩甲骨運動の特徴として肩関節の下制動作中に肩甲骨の前傾が他の type と比較して増加していると報告されている(Huang et al 2015; Huang et al 2015)。また、SD を有する野球選手を対象とした park らの研究では、肩関節の挙上にもなう肩甲骨運動の特徴は、挙上 150°において肩甲骨の後傾角度が非投球側と比較して減少していると報告されている(Park et al 2020)。競技レベルにおける SDT（肩関節挙上・下制運動）中の肩甲骨運動の変化

に関して、Blache らは、オーバーヘッドスポーツとは異なるが競技レベルの違い（エリート青年期レベル・エリート成人期レベル・成年期のクラブレベル）における無症状の水泳選手の肩甲骨面上の挙上と下制動作中の肩甲骨運動の変化について報告した (Blache et al 2018). 最もパフォーマンスレベルの高い無症状の成年期のクラブレベルの選手はそれ以外の選手よりも肩甲骨の内旋が増加（SD type IIに相当）しており、競技レベルが上がるにつれて、肩関節障害の発生リスクが高まっていることが言及されている (Blache et al 2018). ここで、Blache らの報告では無症状の野球選手と SD の type の発生状況は異なるが、無症状の水泳選手のパフォーマンスレベルが高くなると SD type II（肩甲骨内旋の増加）の発生率が増加し、肩関節障害の発生リスクが高まる可能性が推察される。本研究においてもパフォーマンスレベルの高い大学とプロレベルの無症状の野球選手は type Iの発生率が高いことから、SDT 中の肩甲骨の下角の突出（type I）にともなう肩甲骨後傾の低下（肩甲骨前傾の増大）により肩関節障害のリスクが高まっている状態であることが考えられる (Flatow et al 1994; Lukasiewicz et al 1999).

#### **2.4.7 肩甲骨の運動異常 type Iの原因と投球動作中の肩関節運動の関連**

この肩甲骨後傾の低下をとともなう肩甲骨下角の突出の原因として、肩甲骨のみの局所の機能障害と肩甲骨に隣接する体幹などの機能障害のそれぞれが影響する。肩甲骨のみの局所の機能障害として、小胸筋の柔軟性低下 (Borstad & Ludewig 2005; Provencher et

al 2017; Umehara et al 2018)や前鋸筋や僧帽筋下部線維の筋力低下(Burkhart et al 2003)や前鋸筋の筋活動の低下(Huang et al 2015)などの肩甲骨の機能低下が影響していることが知られている。また、肩甲骨に隣接する体幹の機能障害の中で、胸椎（体幹）の後彎が増大した姿勢（猫背）は肩甲骨後傾の低下と内旋の増大を引き起こし、結果として、SD type IやIIのようなSDの発生に関与すると考えられている(Gumina et al 2008; Otoshi et al 2014)。これらのことから、type Iを呈する野球選手に対して、肩甲骨を後傾させるための肩甲骨の機能や肩甲骨に隣接する体幹の機能を改善することが非常に重要であるといえる。以上の機能障害に対する改善方法を含む詳細については、第3章4節の「考察」で述べる。

SD type と投球動作中の肩関節運動の関連について、Burkhart らは肩甲骨内側縁の突出を呈するSDは投球動作中の肩甲上腕関節の過剰な水平外転を呈し、SLAP 損傷や腱板損傷の発症に関与することを言及している(Burkhart et al 2003)。SD type Iのように肩甲骨の後傾運動に異常をきたす野球選手においても投球動作中に肩甲上腕関節の過剰な運動が生じることが推察されるが、未だに明らかになっていない。さらに、SDが投球動作中の肩関節に対する力学的ストレスを増加させるかどうかは定量的に検証されていない。以上のことから、次の3章ではSDにともなう肩甲骨後傾の低下が投球動作中の肩関節の運動や力学的ストレスに影響するかどうかを検討する。

## まとめ

本研究の目的は無症状の大学とプロレベル（独立リーグ）の野球選手における肩甲骨の運動異常（SD）を 4 type に分類することであった。この結果、本研究における SD（type I～IIIを含む）の発生数は 26/51（51%）名であった。一方で、SD のない正常な肩甲骨運動を有するもの（type IV）は、25/51 名（49%）であった。SD の 4 type 分類の結果、type I は 24/51 名（47%）、type II は 9/51 名（18%）、type III は 6/51 名（12%）であった。先行研究より、無症状の SD を有するものは、正常な肩甲骨運動を有するものよりも肩関節障害の発症リスクが高いこと（オッズ比 8.4）が報告されている(Clarsen et al 2014)。このことから、SD を有する野球選手は無症状であっても肩関節障害の発症リスクが高いことが考えられるため、SDT による SD のスクリーニング評価が有用であると考えられる。

表

表 4 本研究と先行研究における肩甲骨の運動異常の発生特徴

論文	対象者数	対象	評価方法	肩甲骨の運動異常	
				2-type分類の発生数(発生割合)	4-type分類の発生数(発生割合)
本研究	51	野球	肩屈曲・外転運動	26/51(51)	type I 24(47) type II 9(18) type III 6(12) type IV 25(49)
Clarsen et al	203	ハンドボール	肩屈曲運動	100/203(62)	-
Park et al	165	野球 (127名), 水泳 (1名), やり投げ (1名) ハンドボール (2名), バスケットボール (1名), ゴルフ (5名), 卓球 (2名), ダイビング (1名), ボーリング (1名), アーチェリー (1名), 趣味レ ベルのスポーツ活動 (26名)	肩屈曲・肩甲骨面挙上運動	145/165(88)	type I 75(46) type II 46(28) type III 24(15) type IV 20(12)
Park et al	89 (178肩を対象)	野球 (75名), バレーボール (2名), 水泳 (4 名), バドミントン (1名), ゴルフ (2名), 趣味レベルのスポーツ活動 (5名)	肩屈曲・肩甲骨面挙上運動	122/178 (69)	type I 73/178(41) type II 39/178(22) type III 10/178(6) type IV 56/178(32)
Tate et al	84	水泳	肩屈曲・外転運動	27/84 (32)	-
Kawasaki et al	103	ラグビー	肩屈曲・肩甲骨面挙上運動	33/103 (32)	type I 6/103(6) type II 4/103(4) type III 23/103(22) type IV 70/103(68)
Madsen et al	78	水泳	肩甲骨面挙上運動・wall push up	0/78 (0)	-
Shitara et al	105	野球	肩屈曲・外転運動	肩肘症状あり 5/21(24) 肩肘症状なし 17/84(20)	-
Standoli et al	661	水泳	肩屈曲運動	56/661(9)	type I 26(3) type II 20(3) type III 10(2) type IV 605/661(92)
Myers et al	246	野球	肩屈曲・外転運動	122/246(50)	-
Huang et al 2015	82	肩関節疾患患者	肩屈曲・外転運動	67/82(82)	type I 40/82(49) type II 53/82(65) type III 10/82(12) type IV 15/82(18)

### 第3章 肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作中の肩関節 の運動学・動力的解析

#### 3.1 はじめに

投球動作における肩関節の外旋は投球パフォーマンスに関与する (Roach et al 2013; Wang et al 1995) 一方で、肩関節負荷を増大させ、投球障害肩の発症リスクを高める運動である (Burkhart et al 2003; Fleisig et al 1995; Mihata et al 2004)。投球動作における肩最大外旋時 (MER) における肩関節の外旋は、肩甲上腕関節約  $106^{\circ}$ 、肩甲骨後傾約  $20^{\circ}$ 、胸椎伸展約  $8^{\circ}$  の動きで構成されている (Miyashita et al 2010)。このことから、投球動作における肩関節の外旋運動は肩甲上腕関節だけでなく、肩甲骨と体幹も合わせて運動させることで実現されている。特に肩甲骨の後傾は投球動作中の過剰な肩甲上腕関節の外旋を抑制することに関与する (Miyashita et al 2010; Suzuki et al 2019)。

しかしながら、SD により肩甲骨の後傾が低下した場合 (SD type I)、投球中の肩関節外旋角度を維持するためには、その代償として肩甲上腕関節の外旋を相対的に増加させる必要がある (Burkhart et al 2003; Miyashita et al 2010; Suzuki et al 2019)。そして、肩甲上腕関節の過剰な外旋は、投球中の肩関節のメカニカルストレスが増大し、投球障害肩の発症リスクを増大させる (Burkhart et al 2003; Fleisig et al 1995; Kibler et al 2013; Kuhn et al 2003; Miyashita et al 2010)。

肩甲上腕関節の過剰な外旋と肩関節障害の関連については、cadaver study により明ら

かにされている。Kuhn らは、肩関節の過度な外旋は肩関節唇-上腕二頭筋長頭腱複合体に捻じれや伸張ストレスが生じることで、組織損傷を引き起こすことを報告している (Kuhn et al 2003)。この損傷メカニズムは peel back メカニズムと言い、投球動作による SLAP 損傷の発症メカニズムとして、広く知られている (Burkhart et al 2000, 2003; Kuhn et al 2003; Mihata et al 2008)。また、肩関節の前方関節包の弛緩や肩甲骨の内側縁の突出などの肩甲骨の位置異常を呈した状態で、肩甲上腕関節の外旋が生じると上腕骨頭の前方偏位の増大が生じる (Kuhn et al 2003; Mihata et al 2004; Mueller et al 2013)。このことから、第 1 章 6 節や 7 節でも述べたように、投球動作中の肩甲上腕関節の外旋の増大は投球パフォーマンスを高める一方で、投球障害肩の発症を増加させる要因になりえる。そして、SD type I のように肩関節運動中の肩甲骨の後傾の低下は、後期コッキング期における肩甲上腕関節の過剰な外旋や肩甲骨の後傾の低下を引き起こすことが推察されるが、従来の研究においては、SD が投球動作中の肩関節のバイオメカニクスに変化を引き起こすかどうかについては、未だ明らかになっていない。SD と投球動作中の肩関節のバイオメカニクスの関連性を明らかにすることは、肩関節の運動異常が投球動作中の病態運動を引き起こすメカニズムを理解するための重要な知見になることが考えられる。また、投球障害肩を有する野球選手のための障害予防やリハビリテーション、パフォーマンス向上のためのトレーニングプログラムを考案するための有用な知見になることが期待される。これらのことから、研究 2 の仮説は type I のような肩甲骨後傾の低下が生じる

SD を有する野球選手の投球動作において、肩甲骨上腕関節の外旋運動の増加と肩甲骨の後傾の低下、肩関節の力学的ストレスの増加（肩関節間力と関節モーメントの増加）が生じ、投球パフォーマンスが低下するとした。研究 2 の目的は肩甲骨の後傾を低下させる SD type が投球動作中の肩甲骨上腕関節と肩甲骨の運動学的および動力学的な変化を引き起こすかどうかを検証することとした。

## 3.2 方法

### 3.2.1 対象

対象は、健常な大学および日本の独立リーグに所属する野球選手 51 名とした。なお、研究 2 の対象者は研究 1 において、2 名の検査者の SD 評価が一致した者のみとした。

### 3.2.2 群分け

本研究では、野球選手の SD type における投球動作中の肩甲骨の後傾の影響を明らかにするために、次のように群分けをした。type I のみ、type I と type II の混合(type I + II)、type I と type III の混合(type I + III)、type I と II、III の混合(type I + II + III)のそれぞれを①異常群（SD type I を含む異常群）とした。一方、コントロール群として、type IV のみを②正常群とした。先行研究より、SD type I における肩関節運動中の肩甲骨の後傾角度は他の SD type よりも小さかったことが報告されている(Huang et al 2015)。なお、本研究では肩甲骨の後傾運動に影響を及ぼすもの（SD type I）を評価対象としているため、type

IIやIIIのみのように type Iを含まない SD は本研究の対象から除外した.

### 3.2.3 投球動作解析

野球の投球動作は、モーションキャプチャ・システム(Mac3D, Motion Analysis, USA)を用いて計測した. モーションキャプチャ・システムは、動作を計測する CCD カメラ 18 台、床反力を計測するフォースプレート 4 枚から構成される (図 4). サンプリング周波数は 240Hz とした. 投球動作中の身体の動きを計測するために、全身に 56 個の赤外線反射マーカを貼付した(Wu et al 2002; Wu et al 2005) (図 5). なお、全身に貼付したマーカの中で本研究の解析には、体幹と肩甲骨、投球側上肢に貼付したマーカ 14 点を使用した (第 3 章 2 節 6 項).

動作計測の前の投球練習は、約 10 分程度実施した. 全ての被験者の運動課題はフラットな床面上で全力のストレートの投球とした(Oliver & Weimar 2015) (図 6).

### 3.2.4 投球動作中の肩甲骨運動の計測方法

先行研究では、投球動作中の肩甲骨運動は肩峰上に貼付した磁気センサを用いて計測されている(Konda et al 2015; Meyer et al 2008; Oliver & Weimar 2015). しかしながら、一般的な磁気センサにおける肩甲骨運動の計測の問題点はセンサに接続されたケーブルにより投球動作のようなダイナミックな運動が制限されることである(Chu et al 2012). この問題点を考慮して、本研究における投球動作中の肩甲骨運動の計測は acromion

marker cluster (AMC)法を用いた(Brochard et al 2011; Matsumura et al 2019; McClure et al 2001). AMC 法は肩峰上に貼付した複数のマーカ群をモーションキャプチャ・システムで計測する手法である(図 7). AMC 法は光学式カメラを用いた非侵襲計測であることに加えて、動作の制限となるケーブルがない状況下で計測を行うことができる(Chu et al 2012; Meyer et al 2008). このことから、AMC 法は磁気センサよりも投球動作中の肩甲骨の運動計測として適している. また、AMC 法における肩甲骨運動の計測精度に関して、Brochard らは AMC 法の精度を検証し、測定誤差は  $2.96\sim 4.48^{\circ}$ であったことを報告している(Brochard et al 2011).

### 3.2.5 投球動作中の肩甲骨運動の計測手順

肩甲骨運動の計測は両側の肩峰の後角上の平らな部分に 4 つの 4mm のマーカで構成されたマーカ群を貼付して実施した(図 7). このマーカ群を本研究では肩峰マーカクラスタと呼ぶ. 本研究で使用した肩峰マーカクラスタは、投球動作中の肩関節運動による皮膚動揺を減らすために、軽量の素材(3g)で作成し、伸縮性テープを用いて貼付した(図 5). 本研究では、先行研究に準拠し、投球動作の計測前に体表上から肩甲骨の形状に合わせたトライアングル状のジグ(scapular locator: SL)を用いて、肩関節の姿勢に対応した肩甲骨位置と姿勢を計測した(Brochard et al 2011; Matsumura et al 2019; McClure et al 2001)(図 7). SL には、肩峰後角(PA)、棘三角(TS)、下角(AI)の 3 点のそれぞれの位置に相当する部分に 4mm のマーカを貼付した(図 7).

投球動作中の肩甲骨の運動計測に関して、次のステップに準じて実施した。

## 1. キャリブレーション（投球動作の計測の前に実施）

投球動作中の肩甲骨計測は、さまざまな肩関節運動にともなう皮膚動揺により、皮膚に貼付した AMC と肩甲骨位置のずれによる測定誤差が増加する可能性がある (Brochard et al 2011; Matsumura et al 2019; McClure et al 2001)。このため、投球動作計測の前に、肩関節のさまざまな姿勢を維持し、SL を用いて静的な肩甲骨位置を予め計測し、AMC に対する肩甲骨の位置を算出する必要がある。Matsumura らは対象とする測定動作に類似した肩関節肢位における AMC に対する肩甲骨の位置を用いて、肩甲骨姿勢を補正することで計測の推定精度が向上したことを報告している (Matsumura et al 2019)。このように、先行研究では体表から肩甲骨の姿勢を推定する際に、測定動作に近い姿勢を用いて、キャリブレーションすることが推奨されている (Matsumura et al 2019; Richardson 2021)。本研究においては、投球動作開始（投球側の下垂位）～ボールリリース（肩関節挙上位）までの肩関節運動の計測を行うことから、下垂位（挙上  $0^{\circ}$ ）と挙上  $120^{\circ}$  かつ挙上面  $30^{\circ}$ （ボールリリースに近似した肩関節姿勢）の 2 つの肩関節姿勢における肩甲骨位置を投球動作計測の前に計測した（図 7）。

## 2. 投球動作の測定

AMC を貼付した状態で投球動作を計測した。そして、1 で測定した肩甲骨に対する AMC 位置のデータを用いて、投球動作中に測定した AMC 位置から肩甲骨の姿勢を推

定した.

### 3.2.6 座標系の設定

投球動作中の胸郭, 肩甲骨, 上腕, 前腕, 手部の姿勢を解析するために, 赤外線反射マーカーは第 7 頸椎 (C7) と第 7 胸椎 (Th7) 棘突起, 頸切痕 (SN), 剣状突起 (XP), 肩鎖関節部 (SH), 肩峰後角 (AMC), 上腕骨内側上顆 (ME), 外側上顆 (LE), 橈骨 (RSP) および尺骨茎状突起 (USP), 第 3 中手骨頭 (M3) にそれぞれ貼付した(Matsumura et al 2019; McClure et al 2001; Wu et al 2005) (図 8). 投球動作中の運動学および動力学解析を行うために, 上記のマーカー位置情報を用いて, 胸郭および投球側の肩甲骨, 上腕, 前腕, 手に局所座標系を設定した(Wu et al 2005). また, Matsumura らの方法に準拠し, 投球動作中の肩甲骨姿勢を推定するために, 肩峰マーカークラスタ (No. 1~4 マーカー) を用いて, AMC 座標系も設定した(Matsumura et al 2019) (図 9).

局所座標系は胸郭座標系 ( $\Sigma_{TH}$ ), 肩甲骨座標系 ( $\Sigma_S$ ), AMC 座標系 ( $\Sigma_{AMC}$ ), 上腕座標系 ( $\Sigma_U$ ), 前腕座標系 ( $\Sigma_{FA}$ ), 手座標系 ( $\Sigma_W$ ), とそれぞれ定義した (図 9, 10). それぞれの座標系の設定は国際バイオメカニクス学会が提唱する方法に準拠した(Wu et al 2005).  $\Sigma_{TH}$  の原点は, XP と Th7 の中点とした.  $\Sigma_S$  の原点は, SH とした.  $\Sigma_U$  の原点は, Fleisig らの方法に準拠し, SH の位置から推定される肩関節中心とした(Fleisig et al 1995).  $\Sigma_{FA}$  の原点となる肘関節中心は, LE と ME の中点とした.  $\Sigma_W$  の原点となる手関節中心は, RSP と USP の中点とした.

$\Sigma_{TH}$  の Y 軸は, XP と Th7 の中点から SN と C7 の中点へ向かうベクトルとし, 胸郭の上方向とした. Z 軸は, Y 軸ベクトルと XP から Th7 へ向かうベクトルの外積とし, 左手から右手方向とした. X 軸は, Y 軸と Z 軸の外積とし, 胸郭の前向き方向とした.  $\Sigma_S$  の Z 軸は TS から PA に向かうベクトルとした. X 軸は TS から PA に向かう単位ベクトルと TS から AI に向かうベクトルで作る平面に対して垂直で前向きのベクトルとした. Y 軸は Z 軸と X 軸の外積とし上向きのベクトルとした.  $\Sigma_{AMC}$  の Y 軸はマーカ No. 2 とマーカ No. 3 の中点からマーカ No. 4 に向かう上向きのベクトルとした. Z 軸は No. 2 マーカと No. 3 マーカの中点から No. 1 マーカに向かうベクトルと Y 軸の外積とした. X 軸は Y 軸と Z 軸の外積とし, 前方を向く.  $\Sigma_U$  の Y 軸は, 肘関節中心から肩関節中心へ向かう近位方向のベクトルとした. X 軸は, ME から LE へ向かうベクトルと Y 軸の外積とし, 前方を向く. Z 軸は, X 軸と Y 軸の外積とした.  $\Sigma_{FA}$  の Y 軸は, 手関節中心から肘関節中心へ向かうベクトルとし, 近位方向を向く. X 軸は, Y 軸と USP から RSP へ向かうベクトルの外積とし, 前方を向く. Z 軸は, X 軸と Y 軸の外積とした.  $\Sigma_W$  の Y 軸は, M3 から手関節中心へ向かうベクトルとし, 近位方向を向く. X 軸は, Y 軸と USP から RSP へ向かうベクトルの外積とし, 掌側を向く. Z 軸は, X 軸と Y 軸の外積とした.

カメラ座標系 ( $\Sigma_{CA}$ ) はフォースプレート上に設定した. 4 枚のフォースプレートのうち, 投球方向の最も奥のフォースプレートの中点を原点としたフォースプレートから垂

直上向きのベクトルを Y 軸，投球方向に向かって右側から左側に向かうベクトルを X 軸，フォースプレートから投球方向に向かうベクトルを Z 軸とした。

### 3.2.7 投球動作中の肩甲骨姿勢の推定方法

投球動作中の任意の姿勢  $i$  における胸郭に対する肩甲骨の姿勢  $R_{Si}$  は，前述の AMC の姿勢を表す座標系  $\Sigma_{AMC}$  と scapular locator で計測した肩甲骨の姿勢を表す座標系  $\Sigma_S$  を用いて，以下の式で算出することができる（図 11）。

$$R_{Si} = R_{AMCi} R_{S-AMCi} (\alpha_i, \beta_i, \gamma_i) \quad (1)$$

$R_{AMCi}$  は，任意の姿勢  $i$  における  $\Sigma_{TH}$  に対する  $\Sigma_{AMC}$  の座標変換とした。また， $R_{S-AMCi}$  ( $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ ) は， $\Sigma_{AMC}$  に対する  $\Sigma_S$  の座標変換とした。 $\alpha_i$  と  $\beta_i, \gamma_i$  は  $\Sigma_S$  の X 軸と Y 軸，Z 軸に対する  $\Sigma_{AMC}$  の姿勢のオイラー角とした。この  $R_{S-AMCi} (\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$  を，キャリブレーションにより事前に決定しておくことで，身体の任意姿勢に対応する肩甲骨の位置と姿勢を推定できる。キャリブレーションでは，対象とする測定動作に近い姿勢で，AMC に対する肩甲骨姿勢を決定する必要がある (Matsumura et al 2019; Richardson 2021)。そこで，投球動作で上腕を挙上することを考慮して，本研究で算出した  $R_{S-AMC}$  は，下垂位と挙上面  $30^\circ$ ・挙上  $120^\circ$  位で計測した肩甲骨姿勢の X 軸と Y 軸，Z 軸のそれぞれの平均値とした。なお，胸郭に対する肩甲骨姿勢はオイラー角を用いて算出し，回転順序は Y 軸（内旋／外旋）→X 軸（下方回旋／上方回旋）→Z 軸（後傾／前傾）とした (Wu et al 2005)。

### 3.2.8 運動学的パラメータ（関節角度，角速度）の算出

関節角度，角速度は第 3 章 6 節で求めた各座標系の座標変換から算出した．解析には，MATLAB R2019a(Math Works)を用いた解析プログラムを使用した．

次に，各関節角度の算出方法と運動方向の定義を示す（図 12，13）．胸郭上腕関節の角度（TH）は， $\Sigma_{TH}$  に対する  $\Sigma_U$  の座標変換から，オイラー角を用いて YX'Y'' の順に算出した(Wu et al 2005)．TH の各軸の運動は Y 軸：水平外転（+）／水平内転（-），X 軸：外転（+）／内転（-），Z 軸：外旋（+）／内旋（-）と定義した．肩甲上腕関節（GH）は推定された  $\Sigma_S$  に対する  $\Sigma_U$  の座標変換から，オイラー角を用いて YX'Y'' の順に算出した(Wu et al 2005)．GH の各軸の運動は Y 軸：水平外転（+）／水平内転（-），X 軸：外転（+）／内転（-），Z 軸：外旋（+）／内旋（-）と定義した．肩甲胸郭関節（ST）は  $\Sigma_{TH}$  に対する  $\Sigma_S$  の座標変換からオイラー角を用いて YX'Z'' の順に算出した(Wu et al 2005)．ST の各軸の運動は Y 軸：内旋（+）／外旋（-），X 軸：下方回旋（+）／上方回旋（-），Z 軸：後傾（+）／前傾（-）と定義した．なお，TH，GH，ST の各運動方向の符号（+，-）は他研究のデータ(Fleisig et al 1995; Konda et al 2015; Oi et al 2019; Oliver & Weimar 2015)と比較するために，先行研究の XYZ 軸のそれぞれの符号に準拠した．体幹の角度は  $\Sigma_{CA}$  に対する  $\Sigma_{TH}$  の座標変換からオイラー角を用いて YX'Z'' の順に算出した(Wu et al 2002)．なお，体幹軸周りの回旋は，右投げと左投げが評価できるように，初期姿勢を 90°回転させたうえで，符号を一致させた．体幹の各軸の運動は

X 軸：投球側側屈（+）／非投球側側屈（-），Y 軸：非投球側方向の回旋（+）／投球側方向の回旋（-），Z 軸：後傾（+）／前傾（-）と定義した．各関節における角速度は関節角度を時間微分することで算出した．

### 3.2.9 動力学パラメータ（関節間力，関節モーメント）の算出

投球動作中の肩関節に加わる力学的ストレス（関節間力と関節モーメント）を推定するために，次の 5 つの仮定を導入した(田中 2016)．

- 1) 体幹，肩甲骨，上腕，前腕はそれぞれ一つの剛体とする．
- 2) 手部とボールは一つの剛体とする．
- 3) 肩関節，肘関節の回転は 3 自由度とする．
- 4) 手関節の回転は 2 自由度とする．
- 5) 空気抵抗は無視する．

この仮定のもとにニュートン・オイラー法を用いて，投球側の関節に加わる関節間力と関節モーメントを，手関節，肘関節，肩関節の順に遠位から近位方向へ算出した(Fleisig et al 1995; 江原 et al 1998; 中村 et al 2004; 中村 et al 2004; 田中 2016)（図 14）．先行研究における投球動作中の肩関節に加わる関節間力と関節モーメントは，肩甲骨の姿勢が測定されていないため，TH 関節（胸郭に対する上腕）として胸郭を基準とした上腕に生じる動力学データが算出されている．したがって，肩甲骨と上腕の位置関係を考慮した GH 関節（肩甲骨に対する上腕）に生じる力学的ストレスは算出されていない

(Escamilla et al 2002; Fleisig et al 1995; Fleisig et al 2006; Oi et al 2019; Sabick et al 2004; Werner et al 2007). そこで、本研究の肩関節の動力学データは TH 関節と GH 関節の 2 つのパラメータに分けて推定した (図 14). なお、第 3 章 6 節で述べたように、TH と GH の両方の関節中心は Fleisig らの方法に準拠した SH の位置から推定した(Fleisig et al 1995).

### <関節間力>

まず、手関節、肘関節、TH 関節、GH 関節のそれぞれの関節に加わる関節間力の算出方法を以下に示す (図 14).

手関節中心には、前腕から手部にかけて関節間力  $F_w$  が作用する.

$$F_w = m_w a_w - F_{w-1} - m_w g \quad (1)$$

手部とボールの質量を  $m_w$ 、手部の重心に作用する加速度を  $a_w$ 、重力加速度を  $g=(0, -9.8, 0)$ とした. なお、 $F_{w-1}$  は、手関節よりも遠位関節に加わる力を表し、手先は外部に接触していないため、本研究ではゼロとした.

算出した手関節に加わる関節間力  $F_w$  はカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  を参照とした値であるため、

$F_w$  は前腕座標系  $\Sigma_{FA}$  を参照とした値  $F_{fw}$  に変換した.

$$F_{fw} = FA^{-1} F_w \quad (2)$$

$FA$  は前腕座標系  $\Sigma_{FA}$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした.

肘関節中心には上腕から前腕にかけて関節間力  $F_e$  が作用する.

$$F_e = m_e a_e - m_e g - F_w \quad (3)$$

前腕部の質量を  $m_e$ 、前腕の重心に作用する加速度を  $a_e$  とする。

算出した肘関節に加わる関節間力  $F_e$  はカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  を参照とした値であるため、

$F_e$  は上腕座標系  $\Sigma_U$  を参照とした値  $F_{uf}$  に変換した。

$$F_{uf} = U^{-1} F_e \quad (4)$$

$U$  は上腕座標系  $\Sigma_U$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした。

上腕骨頭中心には、胸郭および肩甲骨から関節間力  $F_h$  が作用する。

$$F_h = m_h a_h - m_h g - F_e \quad (5)$$

上腕部の質量を  $m_h$ 、上腕部の重心に作用する加速度を  $a_h$  とする。

算出した肩関節に加わる関節間力  $F_h$  はカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  を参照とした値であるため、

$F_h$  は胸郭座標系  $\Sigma_{TH}$  と肩甲骨座標系  $\Sigma_S$  を参照とした値  $F_{th}$  と  $F_{gh}$  のそれぞれに変換した。

$$F_{th} = TH^{-1} F_h \quad (6)$$

$TH$  は胸郭座標系  $\Sigma_{TH}$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした。

$$F_{gh} = S^{-1} F_h \quad (7)$$

$S$  は肩甲骨座標系  $\Sigma_S$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした。

TH 関節（胸郭から上腕）および GH 関節（肩甲骨から上腕）に生じる関節間力  $F_{th} =$

$(F_{th,x}, F_{th,y}, F_{th,z})$ ,  $F_{gh} = (F_{gh,x}, F_{gh,y}, F_{gh,z})$  のそれぞれのベクトルは次のような成分に分

けられる（図 15）： $F_{th,x}$  と  $F_{gh,x}$ ；前方（+）と後方（-）の関節間力， $F_{th,y}$  と  $F_{gh,y}$ ；上

方（+）と下方（-）の関節間力； $F_{th,z}$ と $F_{gh,z}$ ；圧縮（+）と引っ張り（-）の関節間力．なお，TH，GHの各関節間力の符号（+，-）は他研究のデータ(Fleisig et al 1995; Oi et al 2019; Werner et al 2007)と比較するために，先行研究のXYZ軸のそれぞれの符号に準拠した．

### <関節モーメント>

次に，手関節，肘関節，TH関節，GH関節のそれぞれの関節に加わる関節モーメントの算出方法を以下に示す（図14）．

まず，手関節から手部に作用する手関節モーメント $M_w$ の算出方法を以下に示す．

$$M_w = (I_w \dot{\omega}_w + \omega_w \times I_w \omega_w) - r_w \times F_w - r_{w-1} \times F_{w-1} - M_{w-1} \quad (8)$$

ただし， $F_{w-1}$ と $M_{w-1}$ は手関節よりも遠位関節に加わる力とモーメントを表し，手先は外部に接触していないため，本研究ではゼロとした． $r_w$ は，手部の重心位置から力 $F_w$ 間のモーメントアームとした．また， $\omega_w$ は $\Sigma_{CA}$ に対する手部の角速度， $I_w$ は手部の慣性テンソルを表す．

算出した手関節に作用する関節モーメント $M_w$ はカメラ座標系 $\Sigma_{CA}$ を参照とした値であるため， $M_w$ は前腕座標系 $\Sigma_{FA}$ を参照とした値 $M_{fw}$ に変換した．

$$M_{fw} = FA^{-1} M_w \quad (9)$$

$FA$ は前腕座標系 $\Sigma_{FA}$ からカメラ座標系 $\Sigma_{CA}$ への座標変換とした．

次に，肘関節から前腕に作用する肘関節モーメント $M_e$ の算出方法を以下に示す．

$$\mathbf{M}_e = (\mathbf{I}_e \dot{\boldsymbol{\omega}}_e + \boldsymbol{\omega}_e \times \mathbf{I}_e \boldsymbol{\omega}_e) - \mathbf{r}_e \times \mathbf{F}_e - \mathbf{r}_w \times \mathbf{F}_w - \mathbf{M}_w \quad (10)$$

$\mathbf{r}_e$  は、前腕の重心位置から力  $\mathbf{F}_e$  間のモーメントアームとした。また、 $\boldsymbol{\omega}_e$  は  $\Sigma_{CA}$  に対する前腕部の角速度、 $\mathbf{I}_e$  は前腕の慣性テンソルを表す。

算出した肘関節に作用する関節モーメント  $\mathbf{M}_e$  はカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  を参照とした値であるため、 $\mathbf{M}_e$  は上腕座標系  $\Sigma_U$  を参照とした値  $\mathbf{M}_{uf}$  に変換した。

$$\mathbf{M}_{uf} = \mathbf{U}^{-1} \mathbf{M}_e \quad (11)$$

$\mathbf{U}$  は上腕座標系  $\Sigma_U$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした。

次に、胸郭および肩甲骨から上腕に作用する TH 関節モーメント  $\mathbf{M}_{th}$  と GH 関節モーメント  $\mathbf{M}_{gh}$  の算出方法を以下に示す。

$$\mathbf{M}_h = (\mathbf{I}_h \dot{\boldsymbol{\omega}}_h + \boldsymbol{\omega}_h \times \mathbf{I}_h \boldsymbol{\omega}_h) - \mathbf{r}_h \times \mathbf{F}_h - \mathbf{r}_e \times \mathbf{F}_e - \mathbf{M}_e \quad (12)$$

$\mathbf{r}_h$  は、上腕の重心位置から力  $\mathbf{F}_h$  間のモーメントアームとした。また、 $\boldsymbol{\omega}_h$  は  $\Sigma_{CA}$  に対する上腕部の角速度、 $\mathbf{I}_h$  は上腕の慣性テンソルを表す。

算出した肩関節に作用する関節モーメント  $\mathbf{M}_h$  はカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  を参照とした値であるため、 $\mathbf{M}_h$  は胸郭座標系  $\Sigma_{TH}$  と肩甲骨座標系  $\Sigma_S$  を参照とした値  $\mathbf{M}_{th}$  と  $\mathbf{M}_{gh}$  のそれぞれに変換した。

$$\mathbf{M}_{th} = \mathbf{TH}^{-1} \mathbf{M}_h \quad (13)$$

$\mathbf{TH}$  は胸郭座標系  $\Sigma_{TH}$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした。

$$\mathbf{M}_{gh} = \mathbf{S}^{-1} \mathbf{M}_h \quad (14)$$

S は肩甲骨座標系  $\Sigma_S$  からカメラ座標系  $\Sigma_{CA}$  への座標変換とした。

なお、各セグメントの重心位置、質量、慣性テンソルは、日本人アスリートの身体計測データから算出した(阿江通良 1992)。

TH 関節（胸郭に対する上腕）および GH 関節（肩甲骨に対する上腕）に生じる関節モーメント  $M_{th} = (M_{th, x}, M_{th, y}, M_{th, z})$ ,  $M_{gh} = (M_{gh, x}, M_{gh, y}, M_{gh, z})$  のそれぞれのベクトルは次のような成分に分けられる（図 16）： $M_{th, x}$  と  $M_{gh, x}$ ；内転（+）と外転（-）の関節モーメント； $M_{th, y}$  と  $M_{gh, y}$ ；水平内転（+）と水平外転（-）の関節モーメント； $M_{th, z}$  と  $M_{gh, z}$ ；外旋（+）と内旋（-）の関節モーメント。なお、TH, GH の各関節モーメントの符号（+, -）は他研究のデータ(Fleisig et al 1995; Oi et al 2019; Werner et al 2007)と比較するために、先行研究の XYZ 軸のそれぞれの符号に準拠した。

上記の方法で推定される関節間力は、筋、靭帯、腱などの軟部組織と関節面を含む関節全体に加わる力であり、方向と大きさをもつベクトル量である(田中 2016)。また、関節モーメントは各セグメントを剛体と仮定して推定しており、関節周りに生じるモーメントの総和としている(田中 2016)。このため、本研究で算出したモーメントは実際に筋が発揮して生成されるものとは異なる。

### 3.2.10 投球動作の解析方法

本研究の投球動作解析には、投球試技の中で、最速のデータを用いた(Oliver & Weimar 2015)。投球動作の解析の位相に関しては、次のように定義した(Fleisig et al 1995;

Jobe & Bradley 1988; 宮下 et al 2018) (図 17).

- (1) 投球側の手マーカが最下点になった時点：STA
- (2) ステップ脚（右投手であれば左側の下肢に相当）の足底部が床に接地した時点（床反力が発生した時点）：SFC
- (3) 投球側の肩関節外旋角度が最大になった時点：MER
- (4) 投球側の第3中手骨マーカ位置（Y方向）の最上点のすぐ後の時点（ボールが手から離れた時点）：BR
- (5) 前期コッキング期（STA-SFC）の最大値：EC
- (6) 後期コッキング期（SFC-MER）の最大値：LC
- (7) 加速期（MER-BR）の最大値：AC

また、それぞれの関節の運動学的および動力学的パラメータの値は各位相とSTA～SFC（EC）、SFC～MER（LC）、MER～BR（AC）間の最大値を算出した。また、動力学パラメータ（関節間力と関節モーメント）は体重（kg）と身長（m）で規格したデータも算出した(Nicholson et al 2020)。なお、投球動作の時間軸はSTA～BR間を100%に規格化した。以上のデータ解析はMATLAB R2019a (MathWorks, MA, USA)を用いた。

### 3.2.11 統計解析

異常群（SD type Iを含む）と正常群（type IV）の年齢、身長、体重、body mass index（BMI）、両側の肩関節の内／外旋可動域（ROM）、球速、投球動作中の運動学的（投球

側の TH, GH, ST, 肘関節, 体幹) および動力学的パラメータ (TH, GH) のそれぞれのデータに対して, 対応のない t 検定を用いて比較検討した. 有意水準は 5%とした.

統計解析は IBM SPSS Statistics version 25 (IBM Corp., Tokyo, Japan)を用いた. また, 2 群間の各パラメータの差の程度を明らかにするために, G\*Power (Version 3.1.9.4 Kiel University, Germany)を用いて, 効果量 (Cohen's  $d$ ) を算出した.

図

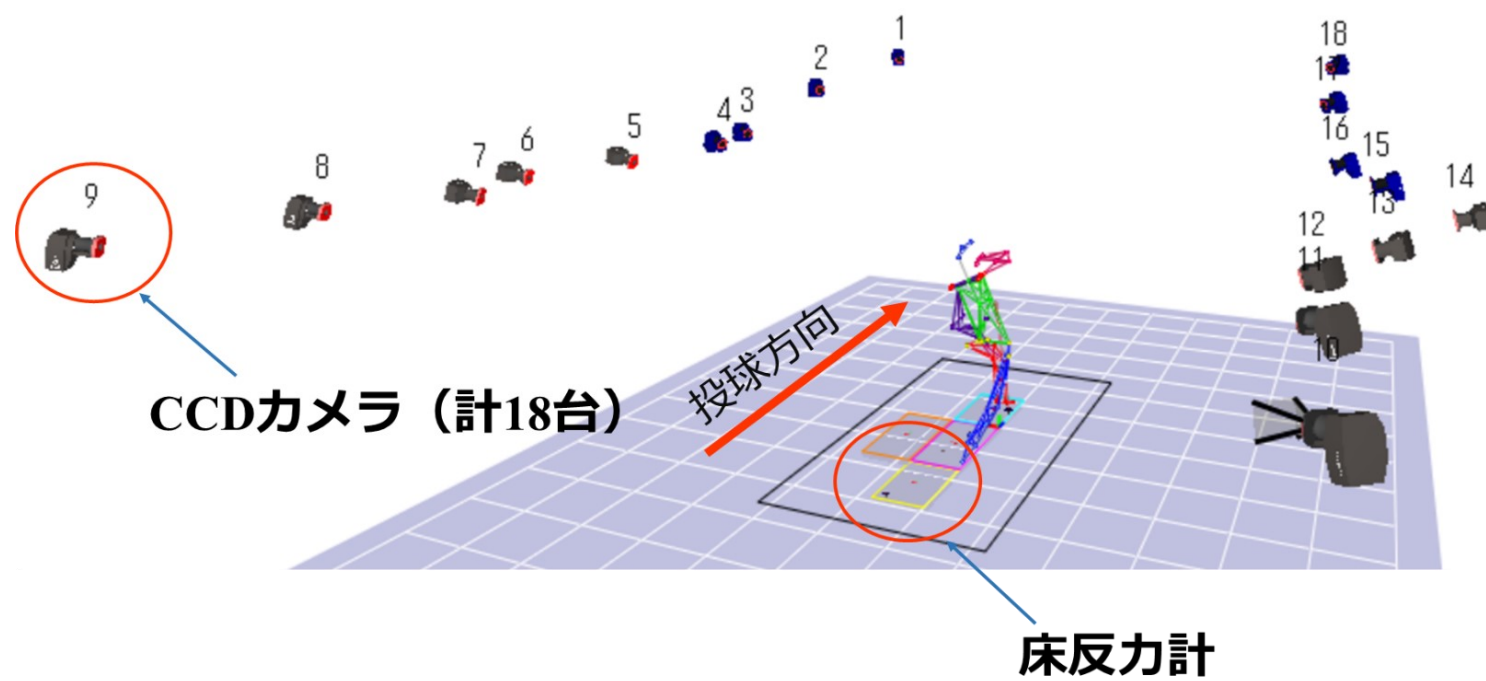


図4 モーションキャプチャ・システムを用いた投球動作の計測

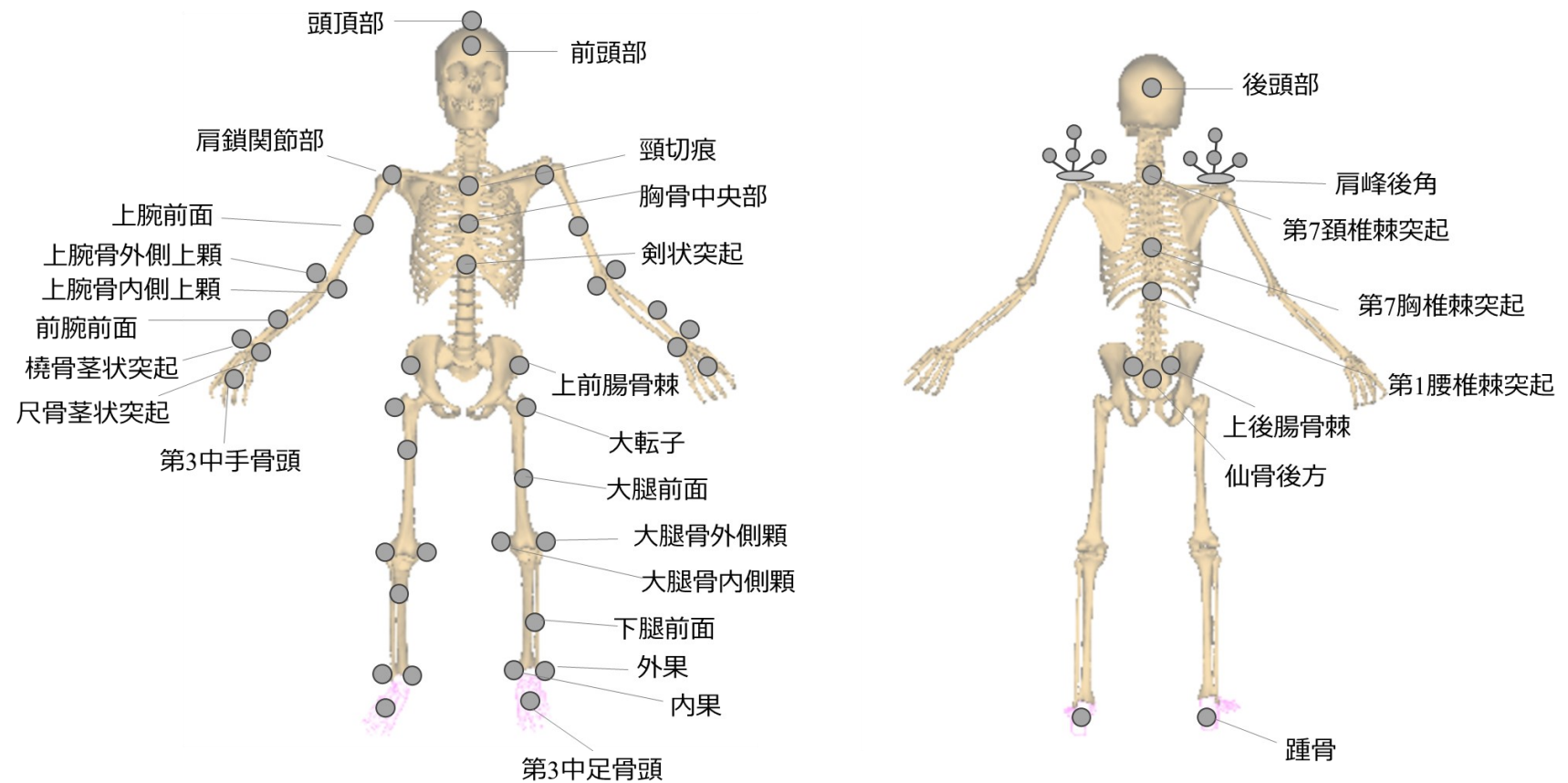
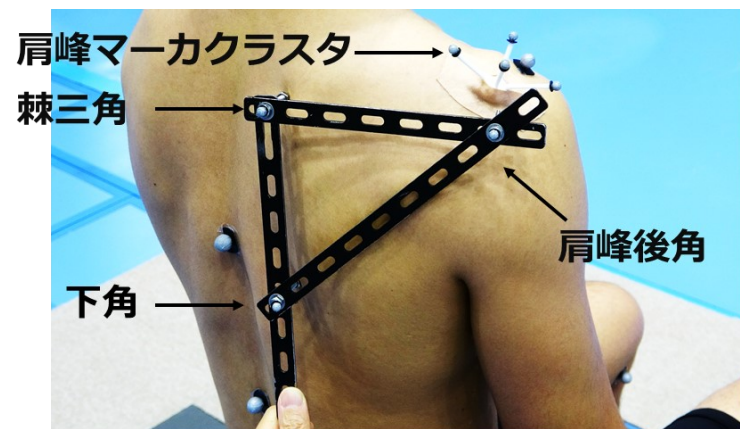


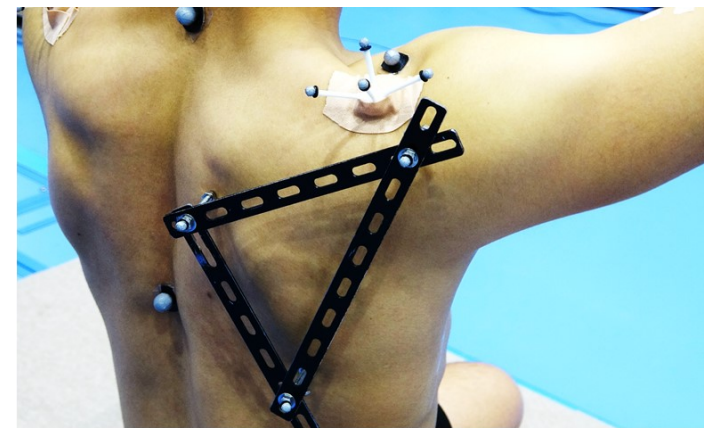
図5 全身の赤外線反射マーカの貼付位置



図 6 投球動作の計測環境



下垂位 (0°)



挙上120°位・挙上面30°位

図7 acromion marker cluster を用いた肩甲骨姿勢の計測

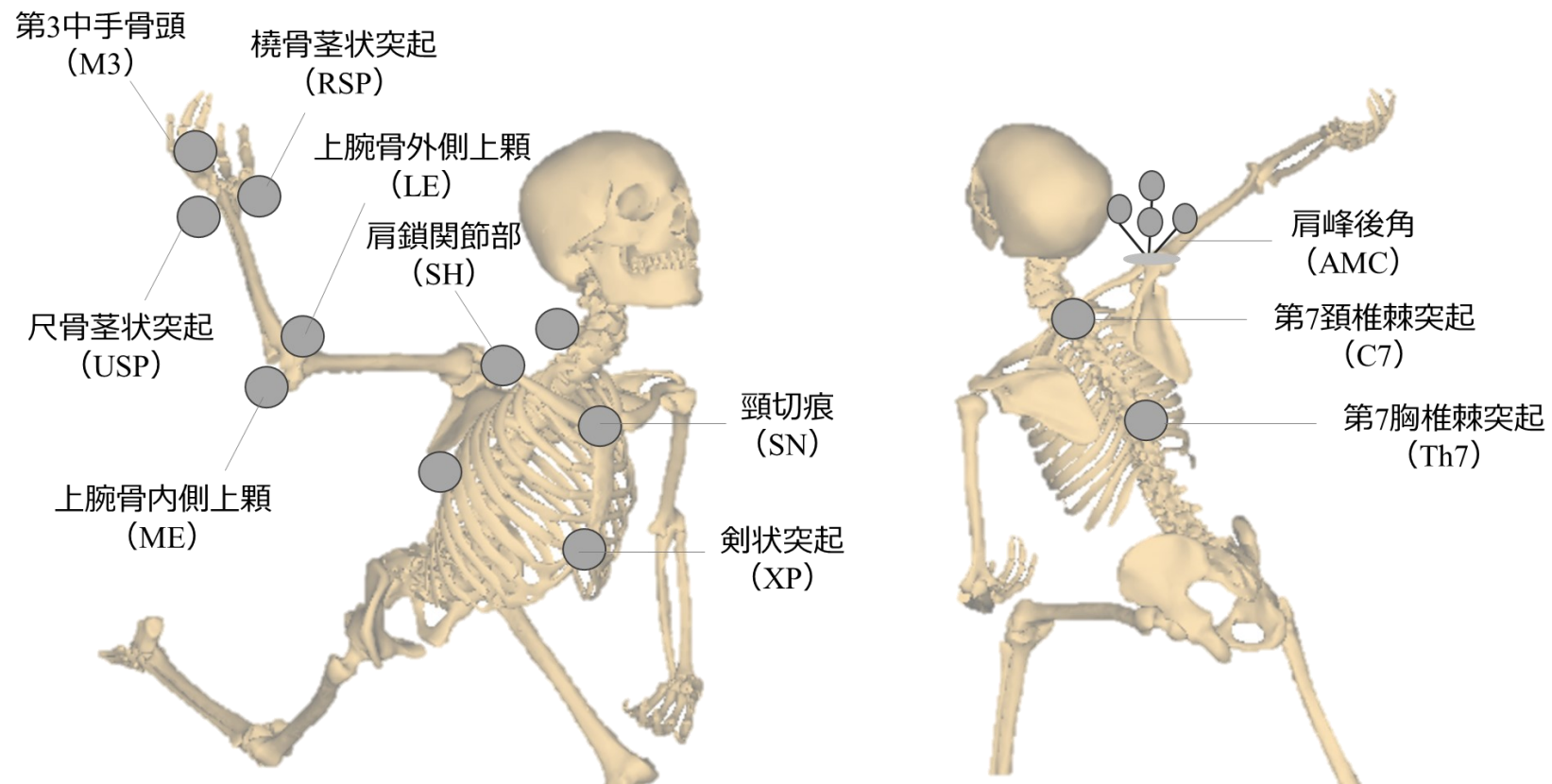


図8 肩関節および体幹運動を計測するための赤外線反射マーカの貼付位置

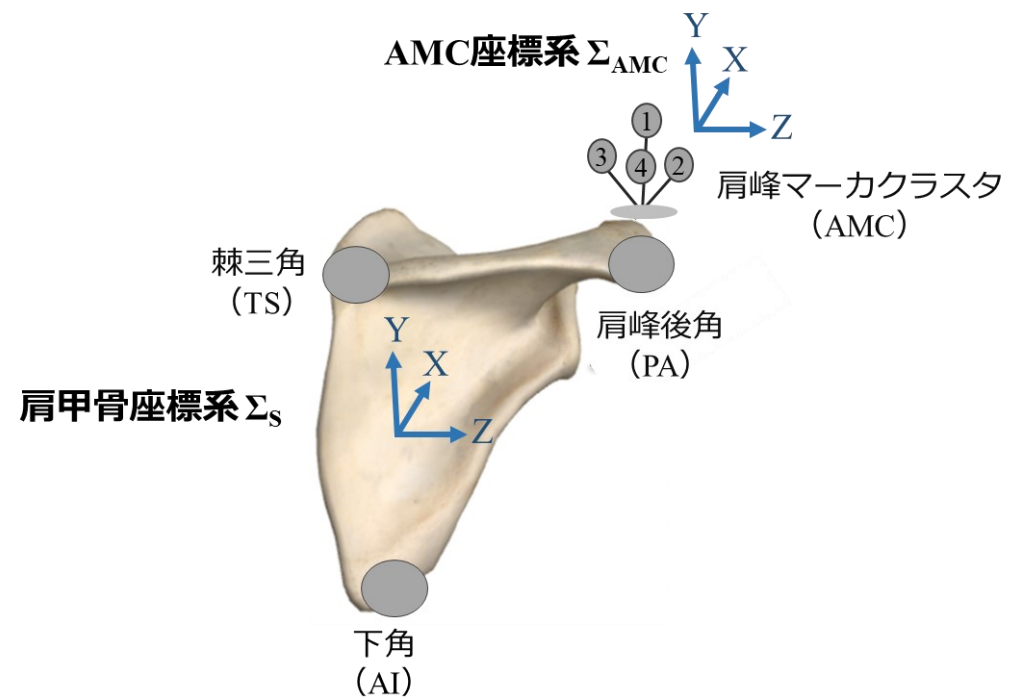


図9 肩甲骨座標系と AMC 座標系の定義

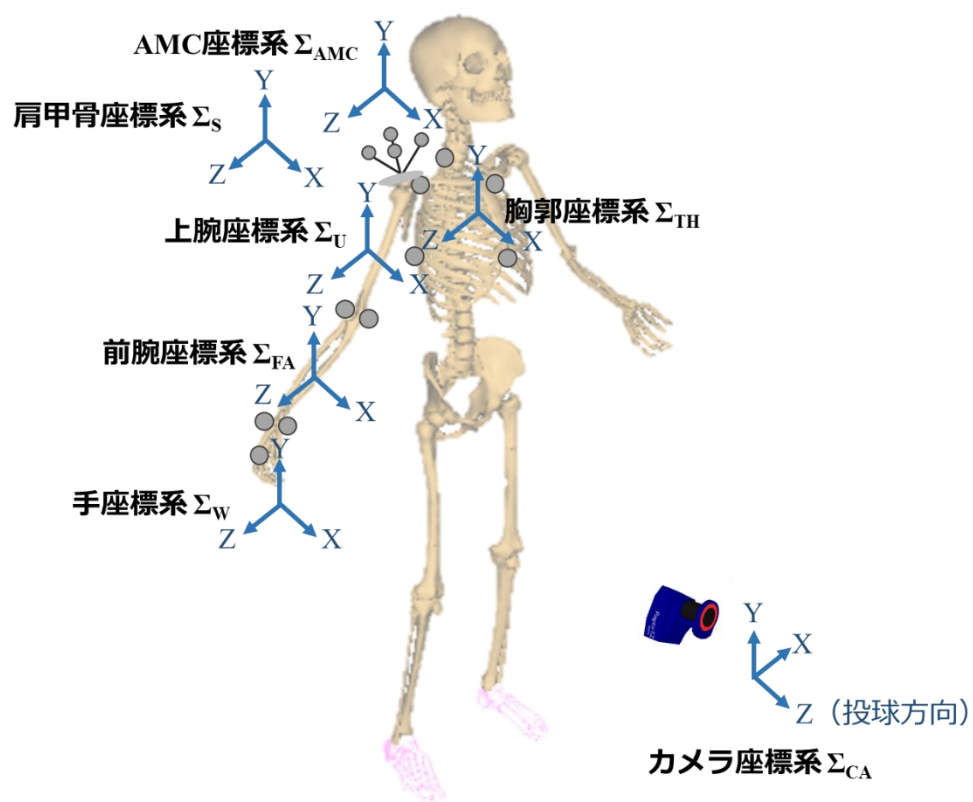


図 10 体幹と投球側上肢の各セグメントにおける座標系の設定

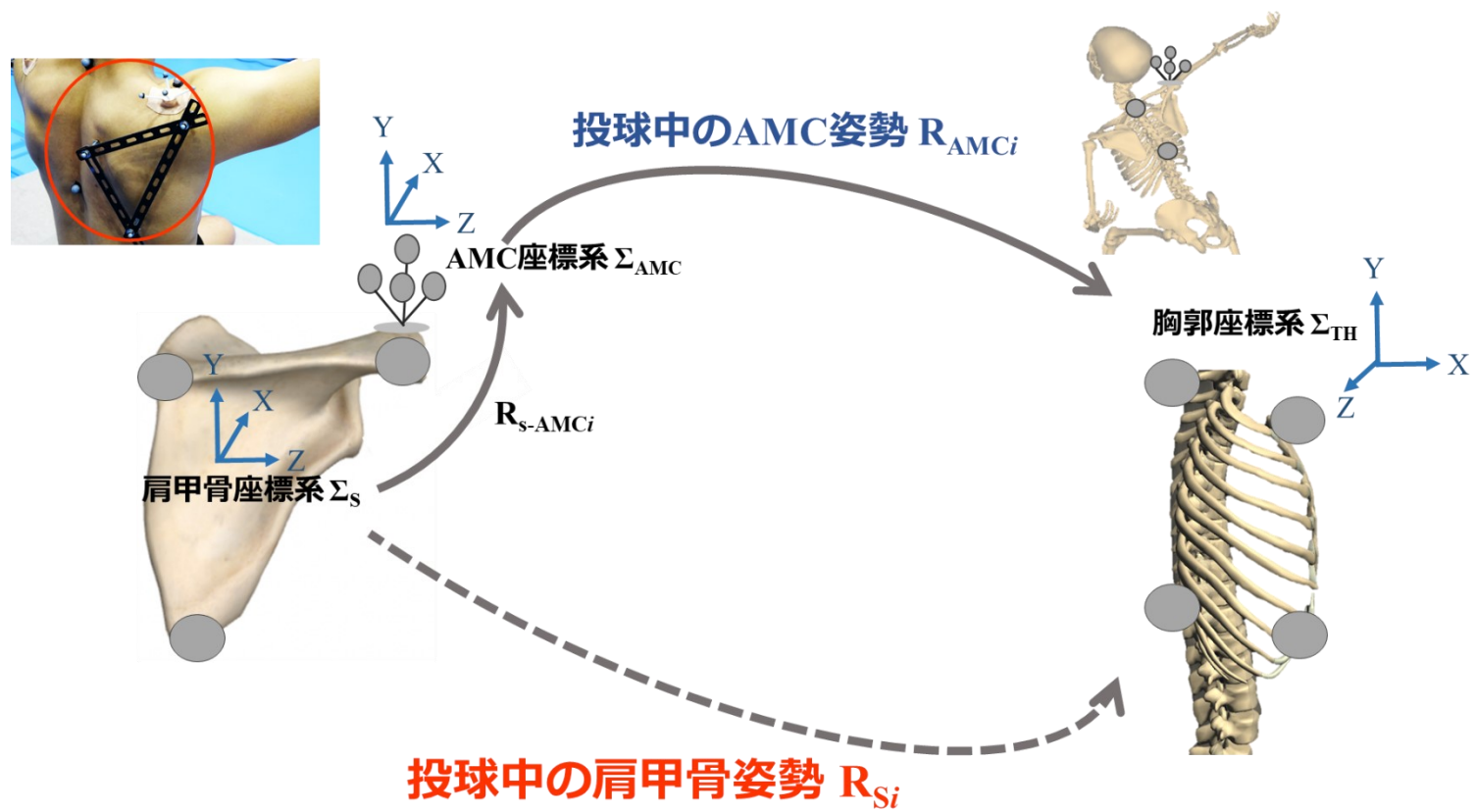


図 11 投球動作中の肩甲骨姿勢の推定方法

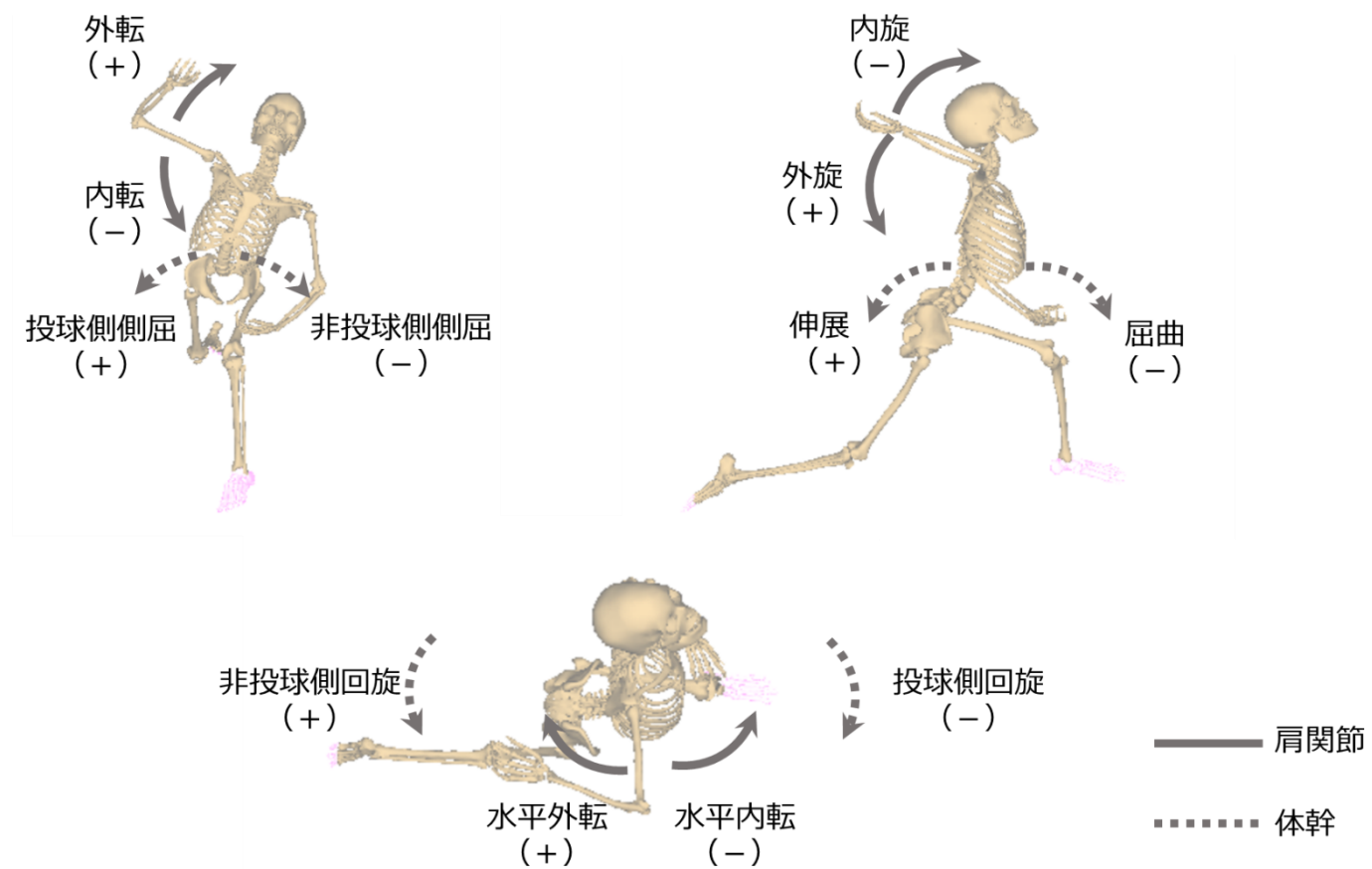


図 12 肩関節（肩甲上腕関節および胸郭上腕関節）と体幹運動の定義

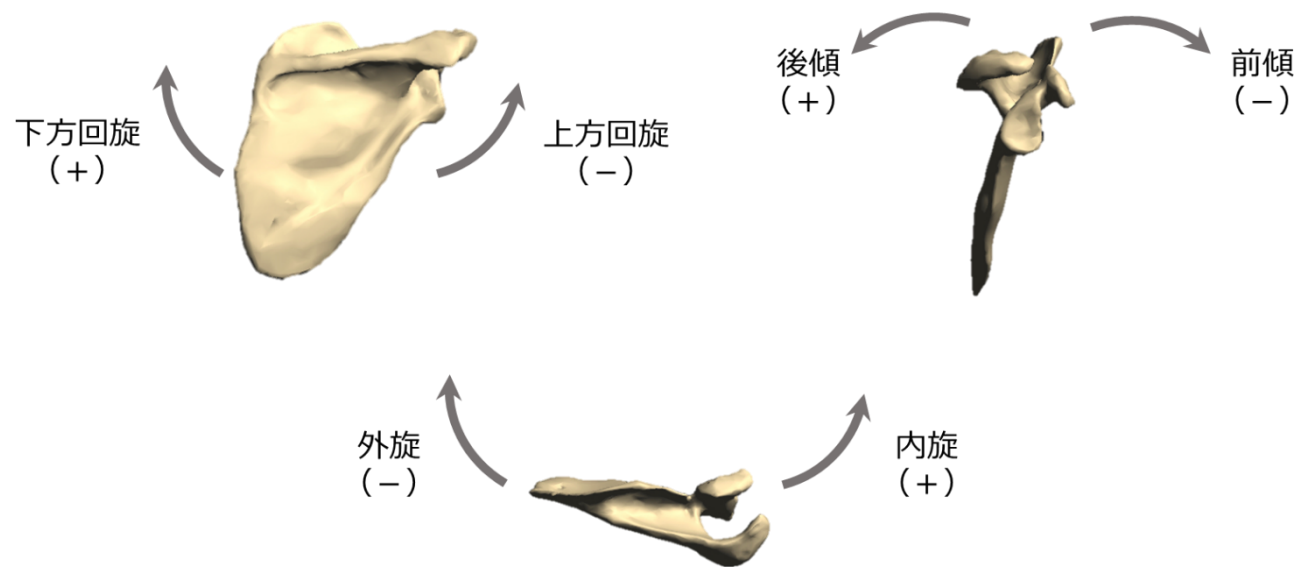


図 13 肩甲胸郭関節の運動の定義

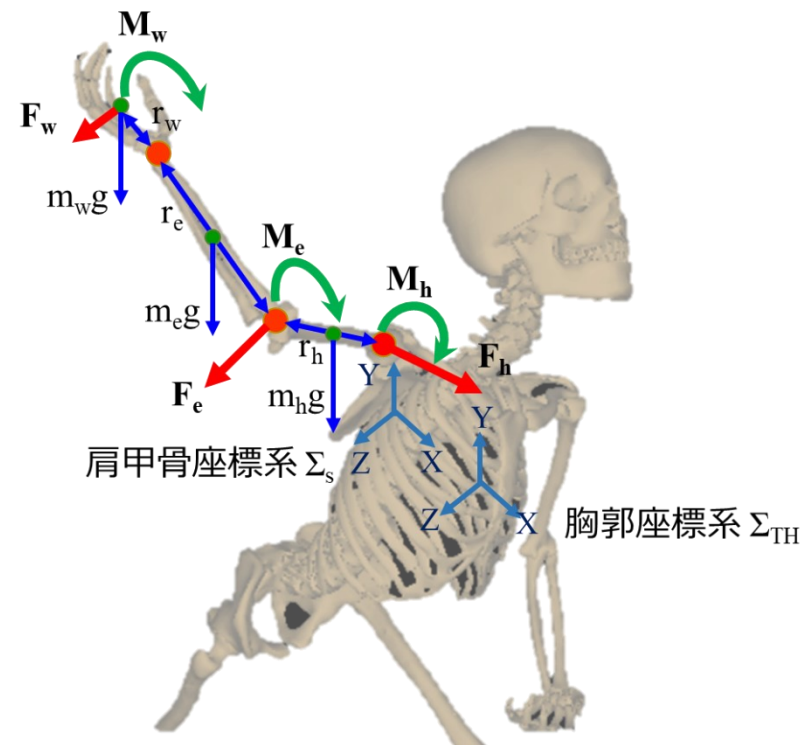


図 14 逆動力学解析を用いた投球側上肢の動力学パラメータの算出方法

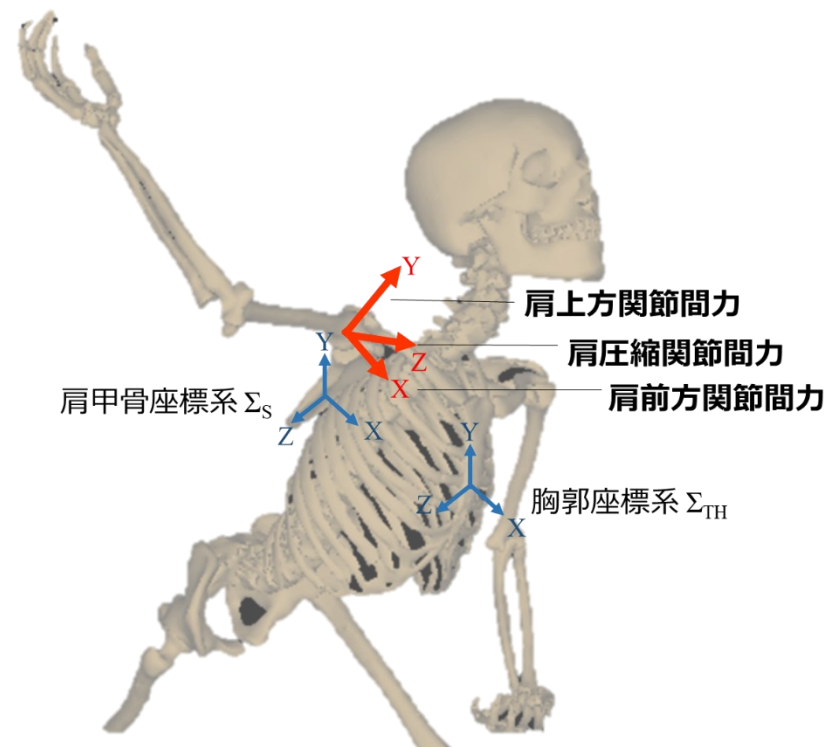


図 15 肩関節間力の定義

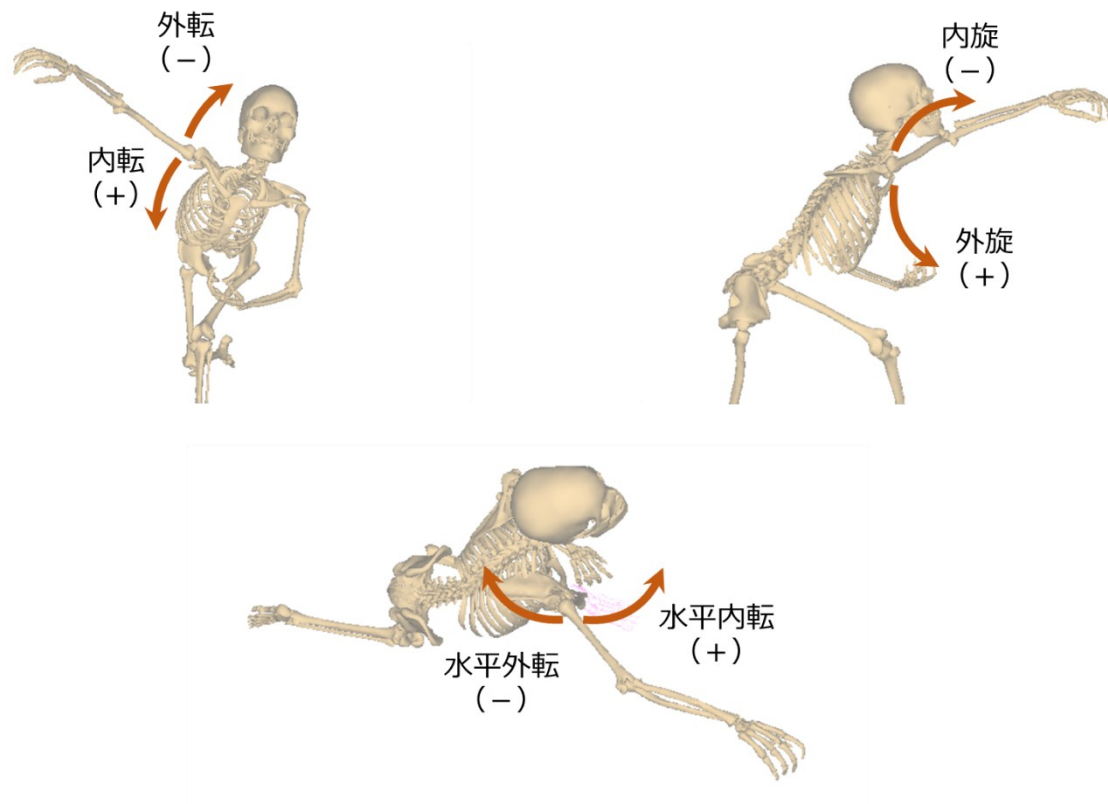


図 16 肩関節モーメントの定義

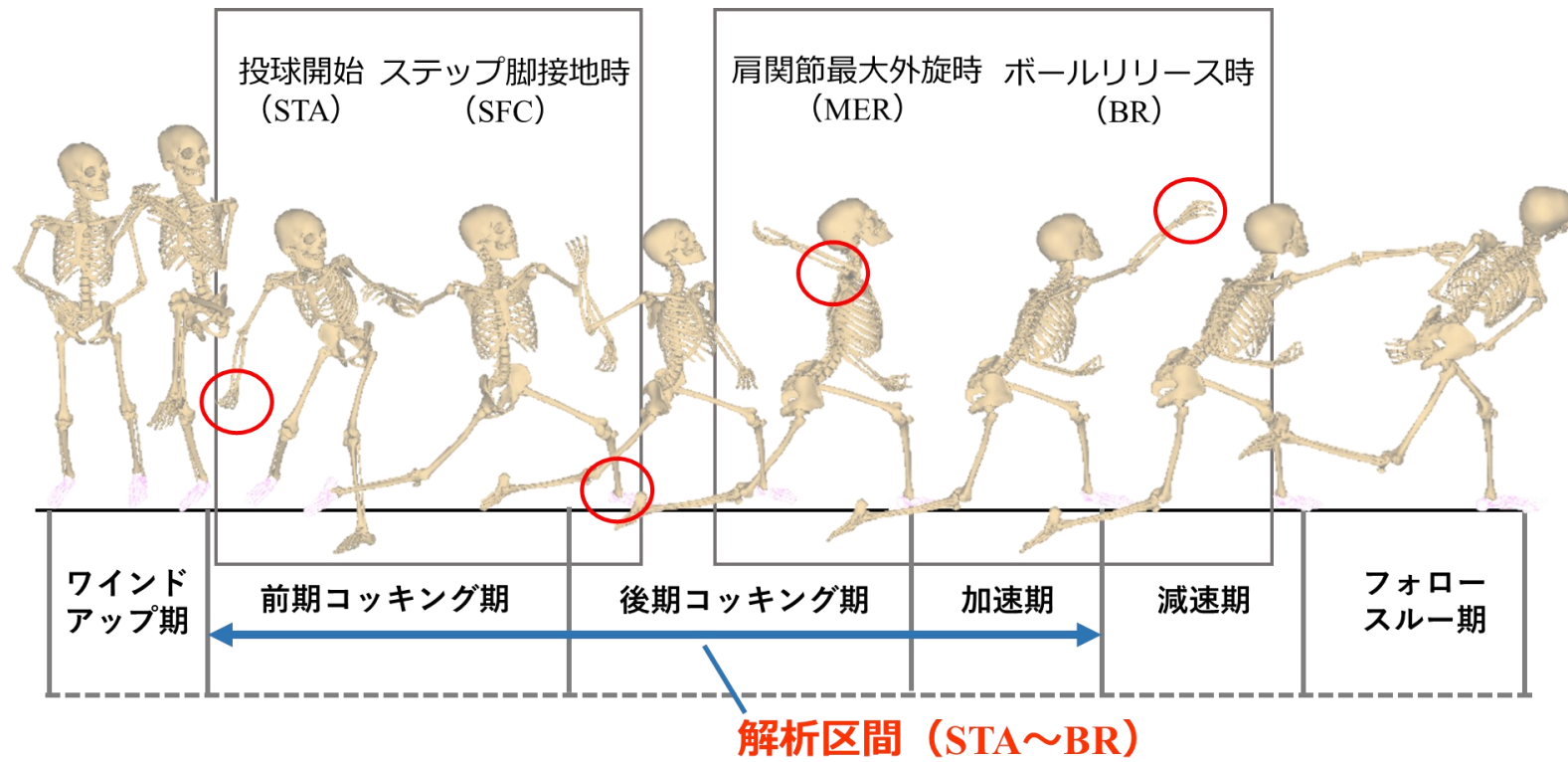


図 17 投球動作の位相と解析区間

### 3.3 結果

本研究の各群のサンプル数は、異常群（type Iを含む）23 名、正常群（type IV）22 名であった。異常群の内訳として、type Iのみは 12 名（26%）、type I+II 8 名（17%）、type I+III 2 名（4%）、type I+II+III 1 名（2%）であった。なお、type Iを含まない type IIのみは 0 名、type IIIのみは 2 名であった。Type IIIのみ 2 名は、type Iを含まないことから本研究の対象外となるため除外した。なお、研究 2 の対象者（51 名）の中の 4 名は、投球動作計測中のマーカ欠損やノイズにより解析が行えなかったため、本研究から除外した。

上記の被験者の基本データ（体格、競技歴、肩関節可動域）について、年齢、身長、体重、body mass index(BMI)、競技歴、両側の肩関節内旋／外旋可動域（ROM）と左右差は異常群と正常群の間に有意な差が認められなかった（表 5）。また、投球パフォーマンスに関しても、球速は異常群と正常群の間に有意な差が認められなかった（表 5）。

時間パラメータとして異常群と正常群の投球動作の位相（図 17）における投球周期（%）は、ステップ脚接地時（SFC）；異常群：57%，正常群：59%，肩関節最大外旋時（MER）；異常群：91%，正常群：91%であった。なお、異常群と正常群の時間パラメータを比較するために、投球側の手マーカが最下点になった時点（STA）を 0%，ボールリリース時（BR）を 100%となるように規格化している。表 6 から表 12 のデータは、個人の特徴を得るため規格化せずにデータから最大値などを抽出し、平均値を求めた。

一方で、図 18 から図 24、資料 1 から資料 8 のグラフは、全体の傾向を見るために時間軸を 100% に規格化しているため、個別データの最大値がずれた状態で平均値を算出している。このため、図と表の値に差が生じている。

関節角度に関して、異常群と正常群における投球動作中の胸郭に対する肩甲骨 (ST)、肩甲骨に対する上腕 (GH)、胸郭に対する上腕 (TH)、体幹のそれぞれの関節角度を表 6-A, B, C, 7-A, 図 18-A, B, C, 図 19-A, B, C, 図 20-A, B, C, 図 21-A, B, C に示した。以下、結果が多いため、重要な結果を抜粋する。

ST の関節角度に関して、異常群の MER の ST 後傾角度は正常群よりも 5° 有意に低下していた ( $F = .80, P = .03, d = .59$ , 表 6-B : 3 行目)。また、異常群の後期コッキング期 (LC 期) の ST 後傾の最大値は正常群よりも 5° 有意に低下していた ( $F = 1.35, P = .04, d = .62$ , 表 7-A (6 行目))。なお、LC 期の ST 後傾の最大値のタイミング (異常群 : 86%, 正常群 : 88%) は MER (異常群 : 91%, 正常群 : 91%) よりも前に生じていた (表 7-B : 3 行目)。SFC と MER, BR, 前期コッキング期 (EC 期), LC 期, 加速期 (AC 期) の最大値におけるその他の ST の関節角度に関して、2 群間で有意な差は認められなかった (表 6-A, B, C, 表 7-A)。

GH の関節角度に関して、異常群の MER の GH 外旋角度は正常群よりも 9° 有意に増加していた ( $F = .98, P = .03, d = .75$ , 表 6-B : 6 行目)。SFC, MER, BR におけるその他の GH の関節角度に関して、2 群間で有意な差は認められなかった (表 6-A, B, C)。TH

の関節角度に関して、MER の TH 外旋角度は 2 群間で有意な差はなかった（表 6-B：9 行目）。また、SFC, MER, BR におけるその他の TH の関節角度に関しても 2 群間で有意な差は認められなかった（表 6-A, B, C）。体幹の関節角度に関して、2 群間で有意な差は認められなかった（表 6-A, B, C）。

角速度に関して、異常群と正常群における投球動作中の GH, TH, 体幹のそれぞれの角速度を表 8, 資料 1-A, B, 資料 2-A, B, 資料 3-A, B に示した。EC 期, LC 期, AC 期における GH, TH, 体幹の各パラメータの最大値は 2 群間で、角速度には有意な差は認められなかった（表 8）。

関節間力に関して、異常群と正常群における投球動作中の GH, TH のそれぞれの関節間力を表 9 - A, B, 表 10 - A, B, 図 22 - A, B, C, 図 23 - A, B, C, 資料 4 - A, B, C, 資料 5 - A, B, C に示した。GH の関節間力は、異常群の LC 期において、GH の規格化した前方間力（N/kg）の最大値が正常群よりも概算値で約 37N（約 4kg）有意に増加していた( $F = 2.09, P = .02, d = .67$ , 表 10-B：7 行目)。その他の GH, TH の関節間力は 2 群間で有意な差が認められなかった。ここで、異常群と正常群における GH の前方間力の平均値の差（約 37N）の概算値の算出方法に関して述べる。結果として表 10-B に示した 2 群間における体重で規格化した GH の前方間力の平均値の差（異常群：0.48[N/BodyWeight], 正常群：0.43 [N/BodyWeight], [BodyWeight]=[kg]×[m/s<sup>2</sup>]) は 0.05[N/BodyWeight]であった。この平均値の差の概算値は、規格化した平均値の差と全対象者の平均体重（76.0kg）、重

力加速度  $9.8\text{m/s}^2$  の積により算出した ( $37[\text{N}]=0.05\text{N/BodyWeight}\times 76.0[\text{kg}]\times 9.81[\text{m/s}^2]$ ).

関節モーメントに関して、異常群と正常群における投球動作中の GH, TH のそれぞれの関節モーメントを表 11 - A, B, 表 12 - A, B, 図 24 - A, B, C, 資料 6 - A, B, C, 資料 7 - A, B, C, 資料 8 - A, B, C に示した. GH, TH における SFC, MER, BR と EC 期, LC 期, AC 期の最大値は 2 群間において、関節モーメントには有意な差が認められなかった.

表

表 5 基本情報（異常群と正常群）

	異常群（type I含む）	正常群（type IV）	95% CI（平均の差）	<i>F</i> value	<i>P</i> value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
年齢 [歳]	20 ± 1	20 ± 1	-1 - 1	.82	.49	0
身長 [cm]	175 ± 6	176 ± 6	-5 - 2	.02	.46	.17
体重 [kg]	75 ± 8	77 ± 7	-7 - 3	.06	.37	.27
BMI	24 ± 2	25 ± 2	-1 - 1	.83	.62	.50
競技歴 [年]	12 ± 2	12 ± 3	-1 - 2	.70	.39	0
利き腕 [名]						
右	14	20				
左	9	2				
ポジション [名]						
投手	18	15				
捕手	2	1				
内野手	1	5				
外野手	2	1				
肩関節内旋可動域 [deg]						
投球側	33 ± 11	36 ± 13	-10 - 5	.60	.44	.25
非投球側	49 ± 13	51 ± 15	-11 - 6	.02	.60	.14
左右差（投球側－非投球側）	-16 ± 15	-16 ± 11	-9 - 8	1.73	.89	0
肩関節外旋可動域 [deg]						
投球側	111 ± 9	113 ± 10	-8 - 4	.39	.55	.21
非投球側	101 ± 8	102 ± 8	-6 - 4	.33	.73	.13
左右差（投球側－非投球側）	10 ± 8	11 ± 9	-6 - 4	.63	.72	.12
球速 [km/h]	112 ± 6	112 ± 8	-4 - 5	.54	.87	0

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>  $P < 0.05$

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

BMI, body mass index

表 6-A 異常群と正常群のステップ脚接地時（SFC）における肩関節と体幹の関節角度

	SFC					
	異常群（type I含む）	正常群（type IV）	95% CI（平均の差）	<i>F</i> value	<i>P</i> value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
肩甲胸郭関節 [deg]						
上方回旋	19 ± 9	18 ± 8	-6 - 4	.11	.74	.12
内旋	-14 ± 11	-18 ± 8	-2 - 10	.85	.18	.42
後傾	5 ± 12	9 ± 10	-10 - 3	.01	.28	.36
肩甲上腕関節 [deg]						
水平外転	26 ± 13	21 ± 12	-3 - 12	.11	.25	.40
外転	67 ± 10	68 ± 13	-8 - 6	.85	.84	.09
外旋	29 ± 26	31 ± 27	-18 - 14	.01	.81	.08
胸郭上腕関節 [deg]						
水平外転	35 ± 10	34 ± 14	-7 - 8	6.21	.80	.08
外転	84 ± 11	82 ± 10	-5 - 8	.12	.67	.19
外旋	41 ± 30	45 ± 30	-22 - 14	.14	.68	.13
体幹 [deg]						
非投球側側屈	-6 ± 8	-4 ± 6	-2 - 6	3.34	.33	.28
非投球側回旋	-8 ± 12	-6 ± 13	-10 - 5	.01	.50	.16
伸展	1 ± 10	-1 ± 8	-5 - 6	.84	.96	.22

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; SFC, ステップ脚接地時

表 6-B 異常群と正常群の肩関節最大外旋時（MER）における肩関節と体幹の関節角度

	MER					
	異常群（type I含む）	正常群（type IV）	95% CI（平均の差）	<i>F</i> value	<i>P</i> value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
肩甲胸郭関節 [deg]						
上方回旋	27 ± 9	23 ± 8	-10 - 0.4	.21	.07	.47
内旋	2 ± 12	-1 ± 10	-4 - 10	1.93	.40	.27
後傾	20 ± 9	25 ± 8	-11 - -1	.80	.03 <sup>b</sup>	.59
肩甲上腕関節 [deg]						
水平外転	3 ± 9	-1 ± 7	-2 - 8	.88	.20	.50
外転	74 ± 9	74 ± 8	-6 - 5	.88	.91	0
外旋	142 ± 11	133 ± 13	-1 - 16	.98	.03 <sup>b</sup>	.75
胸郭上腕関節 [deg]						
水平外転	-5 ± 6	-7 ± 7	-2 - 5	2.13	.46	.31
外転	101 ± 8	98 ± 5	-1 - 7	5.06	.19	.45
外旋	160 ± 10	156 ± 9	-2 - 10	.14	.16	.42
体幹 [deg]						
非投球側側屈	24 ± 8	26 ± 7	-3 - 6	1.81	.40	.27
非投球側回旋	101 ± 8	100 ± 8	-4 - 6	.15	.63	.13
伸展	-15 ± 6	-15 ± 9	-5 - 5	1.26	.96	0

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; MER, 肩関節最大外旋時

表 6-C 異常群と正常群のボールリリース時（BR）における肩関節と体幹の関節角度

	BR					
	異常群（type I含む）	正常群（type IV）	95% CI（平均の差）	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
肩甲胸郭関節 [deg]						
上方回旋	19 ± 11	18 ± 9	-7 - 5	.49	.66	.10
内旋	13 ± 12	10 ± 11	-4 - 10	.77	.36	.26
後傾	-7 ± 13	-4 ± 10	-11 - 3	1.28	.28	.26
肩甲上腕関節 [deg]						
水平外転	10 ± 8	9 ± 9	-3 - 7	.09	.46	.12
外転	79 ± 8	80 ± 10	-6 - 4	.15	.71	.11
外旋	67 ± 36	65 ± 36	-19 - 24	.05	.80	.06
胸郭上腕関節 [deg]						
水平外転	-1 ± 7	-1 ± 7	-5 - 4	.27	.83	0
外転	101 ± 6	99 ± 6	-2 - 5	.22	.35	.33
外旋	64 ± 41	64 ± 38	-24 - 24	.40	1.00	0
体幹 [deg]						
非投球側側屈	16 ± 8	18 ± 6	-3 - 6	2.92	.44	.28
非投球側回旋	120 ± 7	122 ± 6	-6 - 2	.001	.27	.31
伸展	-35 ± 7	-37 ± 8	-3 - 7	.42	.43	.27

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; BR, ボールリリース時

表 7-A 異常群と正常群の各位相間における肩甲胸郭関節の関節角度の最大値

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	<i>F</i> value	<i>P</i> value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
EC期 (最大値)						
肩甲胸郭関節 [deg]						
上方回旋	20 ± 10	19 ± 9	-7 - 4	1.17	.63	.11
内旋	26 ± 14	24 ± 11	-6 - 9	.47	.66	.16
後傾	-18 ± 7	-15 ± 8	-7 - 2	.05	.22	.40
LC期 (最大値)						
肩甲胸郭関節 [deg]						
上方回旋	29 ± 8	25 ± 8	-7 - 5	.03	.66	.50
内旋	-19 ± 11	-22 ± 10	-4 - 10	1.10	.36	.29
後傾	24 ± 9	29 ± 7	-10 - -0.2	1.35	.04 <sup>b</sup>	.62
AC期 (最大値)						
肩甲胸郭関節 [deg]						
上方回旋	18 ± 11	17 ± 9	-8 - 4	.50	.47	.10
内旋	13 ± 12	10 ± 10	-4 - 9	.86	.40	.27
後傾	-7 ± 13	-4 ± 10	-10 - 3	1.61	.31	.26

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; EC期, 前期コッキング期; LC期, 後期コッキング期; AC期, 加速期

表 7-B 異常群と正常群の肩甲胸郭関節の関節角度の最大値のタイミング

	異常群（type I含む）	正常群（type IV）
最大値のタイミング		
肩甲胸郭関節 [%]		
上方回旋	91	92
内旋	100	100
後傾	86	88

表 8 異常群と正常群の肩関節と体幹の角速度の最大値

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	<i>F</i> value	<i>P</i> value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
最大値						
肩甲上腕関節 [deg/s]						
水平外転	522 ± 307	556 ± 229	-198 - 129	.81	.68	.13
外旋	-3663 ± 1115	-4029 ± 971	-263 - 996	.001	.25	.35
胸郭上腕関節 [deg/s]						
水平外転	311 ± 141	396 ± 152	-173 - 3	.003	.06	.58
外旋	-4397 ± 1073	-4643 ± 970	-370 - 862	.21	.42	.24
体幹 [deg/s]						
回旋	1089 ± 111	1074 ± 139	-60 - 90	.45	.69	.12
伸展	-642 ± 130	-631 ± 123	-87 - 65	.06	.78	.09

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間

表 9-A 異常群と正常群の各時点における肩関節の関節間力

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>SFC</b>						
肩甲上腕関節 [N]						
前方間力	130 ± 55	145 ± 79	-7 - 4	2.65	.63	.22
上方間力	7 ± 35	3 ± 42	-6 - 9	.46	.66	.10
圧縮間力	30 ± 49	35 ± 52	-7 - 2	.95	.22	.10
胸郭上腕関節 [N]						
前方間力	133 ± 58	144 ± 81	-7 - 4	2.19	.63	.16
上方間力	12 ± 31	17 ± 39	-6 - 9	1.46	.66	.14
圧縮間力	2 ± 45	-4 ± 63	-7 - 2	3.23	.22	.11
<b>MER</b>						
肩甲上腕関節 [N]						
前方間力	84 ± 77	75 ± 83	-7 - 4	.42	.63	.11
上方間力	57 ± 66	72 ± 62	-6 - 9	.02	.66	.23
圧縮間力	317 ± 82	313 ± 87	-7 - 2	.01	.22	.05
胸郭上腕関節 [N]						
前方間力	51 ± 83	44 ± 81	-7 - 4	.003	.63	.09
上方間力	-73 ± 54	-35 ± 75	-6 - 9	.79	.66	.58
圧縮間力	322 ± 82	325 ± 78	-7 - 2	.43	.22	.04
<b>BR</b>						
肩甲上腕関節 [N]						
前方間力	128 ± 104	101 ± 114	-7 - 4	1.06	.63	.25
上方間力	12 ± 103	-27 ± 137	-6 - 9	.84	.66	.32
圧縮間力	433 ± 137	478 ± 217	-7 - 2	4.65	.22	.25
胸郭上腕関節 [N]						
前方間力	29 ± 102	17 ± 112	-7 - 4	.33	.63	.11
上方間力	-148 ± 112	-187 ± 165	-6 - 9	2.01	.66	.28
圧縮間力	424 ± 136	455 ± 190	-7 - 2	4.17	.22	.19

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; SFC, ステップ脚接地時; MER, 肩関節最大外旋時; BR, ボールリリース時

表 9-B 異常群と正常群の各時点における肩関節の規格化した関節間力

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>SFC</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.18 ± 0.08	0.19 ± 0.10	-0.06 - 0.05	.42	.74	.11
上方間力	0.01 ± 0.47	0.003 ± 0.54	-0.02 - 0.04	.30	.71	.03
圧縮間力	0.04 ± 0.07	0.05 ± 0.07	-0.05 - 0.03	.67	.77	.14
胸郭上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.19 ± 0.09	0.19 ± 0.10	-0.06 - 0.05	.29	.95	0
上方間力	0.02 ± 0.04	0.02 ± 0.05	-0.04 - 0.02	1.53	.58	0
圧縮間力	0.001 ± 0.06	-0.01 ± 0.08	-0.04 - 0.05	2.50	.79	.16
<b>MER</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.11 ± 0.10	0.09 ± 0.11	-0.05 - 0.08	.40	.64	.19
上方間力	0.08 ± 0.09	0.10 ± 0.08	-0.07 - 0.03	.08	.50	.23
圧縮間力	0.43 ± 0.10	0.42 ± 0.12	-0.05 - 0.08	.72	.67	.09
胸郭上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.06 ± 0.11	0.06 ± 0.11	-0.06 - 0.07	.02	.81	0
上方間力	-0.10 ± 0.08	-0.05 ± 0.10	-0.11 - -0.0004	.54	.05	.55
圧縮間力	0.44 ± 0.09	0.43 ± 0.11	-0.06 - 0.06	.60	.89	.20
<b>BR</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.18 ± 0.14	0.13 ± 0.15	-0.04 - 0.13	.59	.29	.34
上方間力	0.02 ± 0.14	-0.03 ± 0.17	-0.05 - 0.14	.45	.34	.32
圧縮間力	0.59 ± 0.17	0.62 ± 0.24	-0.16 - 0.10	3.47	.62	.14
胸郭上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.04 ± 0.13	0.02 ± 0.15	-0.07 - 0.10	.50	.74	.14
上方間力	-0.20 ± 0.15	-0.24 ± 0.19	-0.07 - 0.13	.42	.53	.23
圧縮間力	0.58 ± 0.17	0.59 ± 0.22	-0.13 - 0.10	2.07	.78	.05

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; SFC, ステップ脚接地時; MER, 肩関節最大外旋時; BR, ボールリリース時

表 10-A 異常群と正常群の各位相間における肩関節の関節間力の最大値

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>EC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 [N]						
前方間力	130 ± 55	145 ± 79	-56 - 25	2.65	.44	.22
上方間力	76 ± 17	71 ± 19	-7 - 15	.32	.45	.28
圧縮間力	92 ± 27	92 ± 29	-17 - 16	0	.98	0
胸郭上腕関節 [N]						
前方間力	133 ± 58	144 ± 81	-53 - 32	2.19	.62	.16
上方間力	78 ± 19	79 ± 19	-13 - 10	.13	.83	.05
圧縮間力	94 ± 22	88 ± 25	-9 - 19	.18	.47	.25
<b>LC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 [N]						
前方間力	353 ± 68	323 ± 69	-12 - 70	.05	.16	.44
上方間力	175 ± 69	160 ± 64	-25 - 56	.20	.44	.23
圧縮間力	336 ± 84	332 ± 85	-48 - 55	.003	.89	.05
胸郭上腕関節 [N]						
前方間力	343 ± 76	325 ± 76	-28 - 64	.01	.44	.24
上方間力	174 ± 47	170 ± 57	-28 - 35	.21	.80	.08
圧縮間力	359 ± 78	349 ± 74	-36 - 55	.24	.68	.13
<b>AC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 [N]						
前方間力	190 ± 104	160 ± 115	-36 - 96	.59	.37	.27
上方間力	110 ± 84	102 ± 76	-41 - 96	1.03	.76	.10
圧縮間力	651 ± 145	667 ± 195	-119 - 87	1.84	.75	.09
胸郭上腕関節 [N]						
前方間力	115 ± 104	112 ± 131	-69 - 73	2.08	.95	.03
上方間力	-221 ± 119	-249 ± 147	-52 - 109	.87	.48	.21
圧縮間力	637 ± 152	640 ± 178	-102 - 97	.53	.96	.02

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; EC期, 前期コッキング期; LC期, 後期コッキング期; AC期, 加速期

表 10-B 異常群と正常群の各位相間における肩関節の規格化した関節間力の最大値

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>EC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.18 ± 0.08	0.19 ± 0.10	-0.06 - 0.45	.42	.74	.11
上方間力	0.10 ± 0.03	0.09 ± 0.02	-0.01 - 0.03	.30	.21	.39
圧縮間力	0.13 ± 0.04	0.12 ± 0.04	-0.02 - 0.03	.68	.68	.24
胸郭上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.19 ± 0.09	0.19 ± 0.10	-0.06 - 0.05	.29	.95	0
上方間力	0.11 ± 0.03	0.11 ± 0.02	-0.01 - 0.02	1.26	.70	0
圧縮間力	0.13 ± 0.04	0.12 ± 0.03	-0.01 - 0.03	.68	.27	.28
<b>LC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.48 ± 0.08	0.43 ± 0.07	0.01 - 0.10	2.09	.02 <sup>b</sup>	.67
上方間力	0.24 ± 0.10	0.21 ± 0.09	-0.03 - 0.09	.99	.28	.32
圧縮間力	0.46 ± 0.11	0.44 ± 0.12	-0.05 - 0.08	.07	.62	.17
胸郭上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.47 ± 0.09	0.43 ± 0.08	-0.01 - 0.09	.18	.14	.47
上方間力	0.24 ± 0.07	0.22 ± 0.07	-0.03 - 0.06	.25	.42	.29
圧縮間力	0.49 ± 0.10	0.47 ± 0.10	-0.03 - 0.09	.03	.38	.20
<b>AC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.26 ± 0.13	0.21 ± 0.14	-0.03 - 0.13	.37	.21	.37
上方間力	0.15 ± 0.11	0.14 ± 0.10	-0.05 - 0.08	.84	.66	.10
圧縮間力	0.89 ± 0.18	0.88 ± 0.21	-0.11 - 0.13	.38	.86	.05
胸郭上腕関節 (規格化) [N/kg]						
前方間力	0.15 ± 0.13	0.15 ± 0.17	-0.08 - 0.10	2.41	.88	0
上方間力	-0.30 ± 0.15	-0.32 ± 0.17	-0.08 - 0.12	.39	.67	.12
圧縮間力	0.87 ± 0.19	0.84 ± 0.19	-0.89 - 0.14	.25	.64	.16

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; EC期, 前期コッキング期; LC期, 後期コッキング期; AC期, 加速期

表 11-A 異常群と正常群の各時点における肩関節の関節モーメント

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>SFC</b>						
肩甲上腕関節[N/m]						
内転	6 ± 9	7 ± 10	-8 - 4	.002	.56	.11
水平内転	19 ± 13	24 ± 17	-14 - 4	1.50	.25	.33
外旋	8 ± 4	7 ± 6	-2 - 5	2.80	.40	.20
胸郭上腕関節[N/m]						
内転	3 ± 7	2 ± 8	-4 - 5	.24	.89	.13
水平内転	21 ± 13	26 ± 17	-14 - 4	2.58	.27	.33
外旋	1 ± 9	0 ± 7	-4 - 6	.81	.62	.12
<b>MER</b>						
肩甲上腕関節[N/m]						
内転	2 ± 17	-2 ± 16	-5 - 15	.001	.36	.24
水平内転	58 ± 24	59 ± 27	-17 - 14	.21	.86	.04
外旋	-39 ± 11	-40 ± 14	-7 - 9	3.30	.75	.08
胸郭上腕関節[N/m]						
内転	-20 ± 16	-26 ± 15	-4 - 15	.56	.63	.39
水平内転	31 ± 18	34 ± 22	-15 - 10	1.54	.66	.15
外旋	-60 ± 16	-59 ± 18	-12 - 9	.05	.22	.06
<b>BR</b>						
肩甲上腕関節[N/m]						
内転	-5 ± 39	4 ± 44	-35 - 16	.12	.45	.22
水平内転	34 ± 25	28 ± 28	-10 - 22	.02	.48	.27
外旋	-2 ± 23	-1 ± 26	-15 - 14	.12	.94	.04
胸郭上腕関節[N/m]						
内転	-4 ± 40	5 ± 46	-34 - 17	.51	.63	.21
水平内転	31 ± 25	22 ± 30	-8 - 26	.28	.66	.33
外旋	-14 ± 22	-13 ± 24	-14 - 13	.95	.22	.04

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; SFC, ステップ脚接地時; MER, 肩関節最大外旋時; BR, ボールリリース時

表 11-B 異常群と正常群の各時点における肩関節の規格化した関節モーメント

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>SFC</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/m/m/kg]						
内転	0.005 ± 0.007	0.005 ± 0.007	-0.0054 - 0.0036	.39	.74	0
水平内転	0.015 ± 0.010	0.018 ± 0.012	-0.0093 - 0.0034	.64	.35	.27
外旋	0.007 ± 0.004	0.005 ± 0.005	-0.0010 - 0.0040	.74	.22	.44
胸郭上腕関節 (規格化) [N/m/m/kg]						
内転	0.002 ± 0.005	0.002 ± 0.006	-0.0028 - 0.0042	.08	.69	0
水平内転	0.017 ± 0.010	0.019 ± 0.012	-0.0091 - 0.0040	.52	.43	.18
外旋	0.001 ± 0.006	0.0001 ± 0.005	-0.0022 - 0.0046	1.07	.49	.16
<b>MER</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/m/m/kg]						
内転	0.002 ± 0.013	-0.002 ± 0.012	-0.0035 - 0.0115	.01	.29	.32
水平内転	0.044 ± 0.015	0.044 ± 0.018	-0.0098 - 0.0104	.98	.95	0
外旋	-0.030 ± 0.007	-0.030 ± 0.009	-0.0050 - 0.0044	2.46	.91	0
胸郭上腕関節 (規格化) [N/m/m/kg]						
内転	-0.015 ± 0.012	-0.019 ± 0.011	-0.0030 - 0.0107	.55	.24	.35
水平内転	0.023 ± 0.012	0.025 ± 0.016	-0.0096 - 0.0073	1.92	.78	.14
外旋	-0.046 ± 0.009	-0.044 ± 0.011	-0.0084 - 0.0032	.89	.38	.20
<b>BR</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/m/m/kg]						
内転	-0.004 ± 0.030	0.001 ± 0.032	-0.0236 - 0.0142	0	.62	.16
水平内転	0.026 ± 0.017	0.022 ± 0.022	-0.0086 - 0.0149	.35	.59	.20
外旋	-0.001 ± 0.018	-0.002 ± 0.019	-0.0099 - 0.0118	.01	.87	.05
胸郭上腕関節 (規格化) [N/m/m/kg]						
内転	-0.002 ± 0.031	0.001 ± 0.033	-0.0228 - 0.0156	.09	.71	.09
水平内転	0.024 ± 0.018	0.018 ± 0.023	-0.0066 - 0.0183	.54	.35	.29
外旋	-0.010 ± 0.017	-0.011 ± 0.017	-0.0094 - 0.0110	.08	.87	.06

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; SFC, ステップ脚接地時; MER, 肩関節最大外旋時; BR, ボールリリース時

表 12-A 異常群と正常群の各位相間における肩関節の関節モーメントの最大値

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>EC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節[N/m]						
内転	9 ± 7	10 ± 10	-6 - 4	1.06	.68	.12
水平内転	19 ± 13	24 ± 17	-14 - 4	1.57	.25	.33
外旋	9 ± 4	9 ± 5	-3 - 2	.20	.77	0
胸郭上腕関節[N/m]						
内転	6 ± 5	6 ± 6	-4 - 3	0.87	.76	0
水平内転	21 ± 13	26 ± 17	-14 - 4	2.61	.27	.33
外旋	7 ± 3	6 ± 4	-1 - 3	0.38	.40	.28
<b>LC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節[N/m]						
内転	17 ± 10	18 ± 8	-6 - 5	1.64	.83	.11
水平内転	81 ± 19	79 ± 16	-9 - 5	1.21	.70	.11
外旋	-39 ± 11	-40 ± 14	-6 - 9	3.68	.73	.08
胸郭上腕関節[N/m]						
内転	5 ± 7	5 ± 8	-4 - 4	.11	.99	0
水平内転	63 ± 14	63 ± 15	-9 - 8	.09	.99	0
外旋	-63 ± 17	-61 ± 17	-12 - 8	.01	.69	.12
<b>AC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節[N/m]						
内転	-22 ± 27	-21 ± 23	-17 - 14	.47	.85	.04
水平内転	65 ± 65	70 ± 23	-18 - 10	.16	.53	.10
外旋	-41 ± 12	-44 ± 14	-5 - 11	2.07	.46	.23
胸郭上腕関節[N/m]						
内転	-32 ± 23	-36 ± 16	-8 - 16	1.97	.50	.20
水平内転	50 ± 21	51 ± 23	-14 - 13	.57	.95	.05
外旋	-62 ± 16	-62 ± 17	-9 - 10	0	.91	0

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; EC期, 前期コッキング期; LC期, 後期コッキング期; AC期, 加速期

表 12-B 異常群と正常群の各位相間における肩関節の規格化した関節モーメントの最大値

	異常群 (type I含む)	正常群 (type IV)	95% CI (平均の差)	F value	P value <sup>b</sup>	Effect size <sup>c</sup>
<b>EC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/m/kg]						
内転	0.007 ± 0.006	0.007 ± 0.007	-0.0042 - 0.0038	.16	.92	0
水平内転	0.015 ± 0.009	0.018 ± 0.011	-0.0092 - 0.0034	.69	.36	.30
外旋	0.007 ± 0.004	0.007 ± 0.004	-0.0020 - 0.0024	.31	.85	0
胸郭上腕関節 (規格化) [N/m/kg]						
内転	0.005 ± 0.004	0.005 ± 0.005	-0.0025 - 0.0027	.09	.93	0
水平内転	0.017 ± 0.010	0.019 ± 0.012	-0.0091 - 0.0040	.53	.43	.18
外旋	0.005 ± 0.003	0.004 ± 0.003	-0.0006 - 0.0028	.27	.21	.33
<b>LC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/m/kg]						
内転	0.013 ± 0.008	0.013 ± 0.005	-0.0035 - 0.0042	10.10	.87	0
水平内転	0.062 ± 0.010	0.059 ± 0.009	-0.0023 - 0.0089	.38	.24	.32
外旋	-0.030 ± 0.007	-0.030 ± 0.009	-0.0049 - 0.0047	2.90	.96	0
胸郭上腕関節 (規格化) [N/m/kg]						
内転	0.004 ± 0.005	0.004 ± 0.005	-0.0028 - 0.0034	.02	.86	0
水平内転	0.049 ± 0.009	0.047 ± 0.008	-0.0032 - 0.0067	.09	.48	.23
外旋	-0.049 ± 0.009	-0.045 ± 0.010	-0.0086 - 0.0024	.26	.26	.42
<b>AC期 (最大値)</b>						
肩甲上腕関節 (規格化) [N/m/kg]						
内転	-0.017 ± 0.021	-0.017 ± 0.018	-0.0484 - 0.0868	.92	.57	0
水平内転	0.050 ± 0.015	0.052 ± 0.016	-0.0117 - 0.0069	.27	.61	.13
外旋	-0.032 ± 0.007	-0.033 ± 0.009	-0.0320 - 0.0716	2.24	.44	.12
胸郭上腕関節 (規格化) [N/m/kg]						
内転	-0.024 ± 0.016	-0.027 ± 0.012	-0.0742 - 0.0655	.05	.90	.21
水平内転	0.039 ± 0.014	0.038 ± 0.017	-0.0090 - 0.0101	1.09	.66	.06
外旋	-0.047 ± 0.008	-0.047 ± 0.010	-0.0364 - 0.0569	1.83	.66	0

<sup>a</sup>平均 ± 標準偏差

<sup>b</sup>有意水準：5%.

<sup>c</sup>Cohen's *d* effect size

CI, 信頼区間; EC期, 前期コッキング期; LC期, 後期コッキング期; AC期, 加速期

図

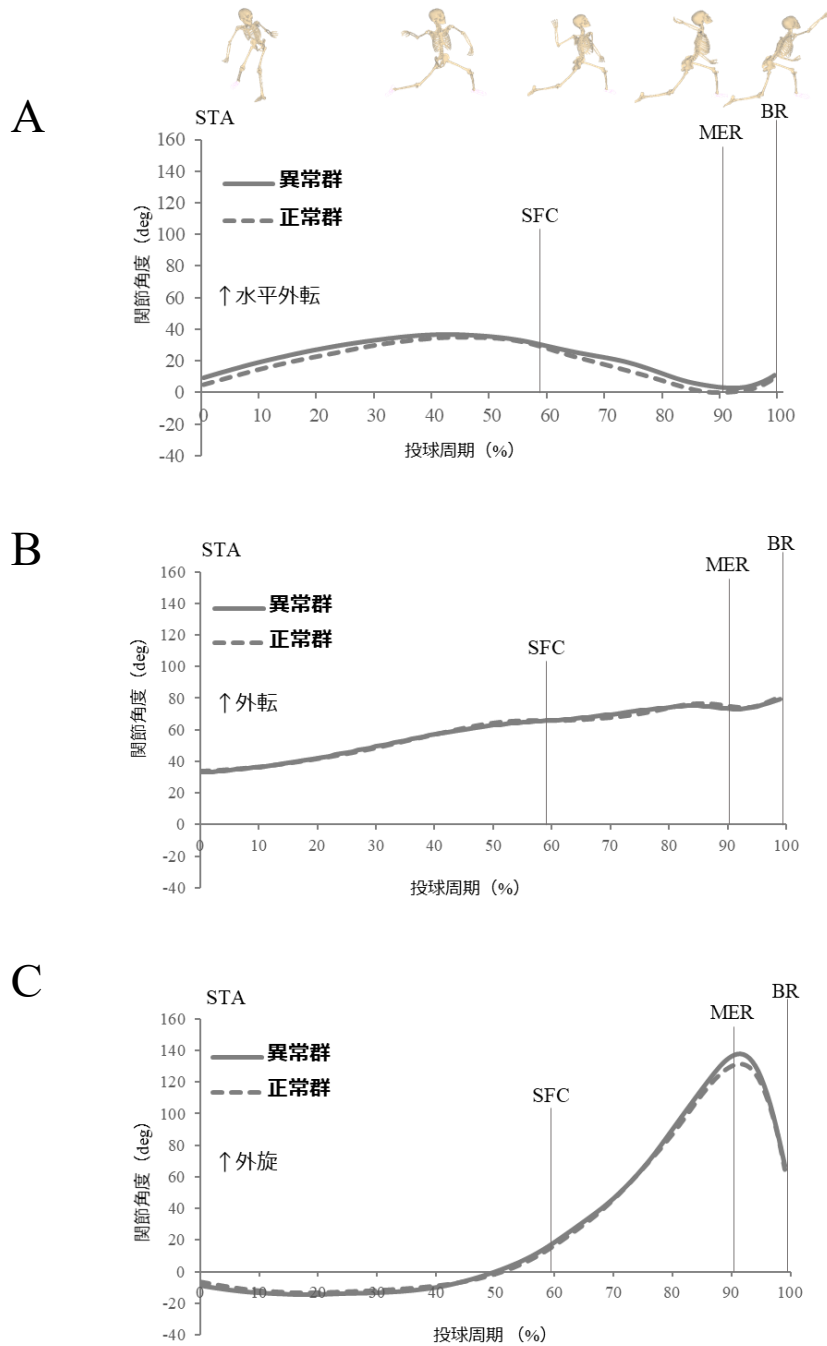


図 18-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の肩甲上腕関節の関節角度

(A : 水平外転, B : 外転, C : 外旋)

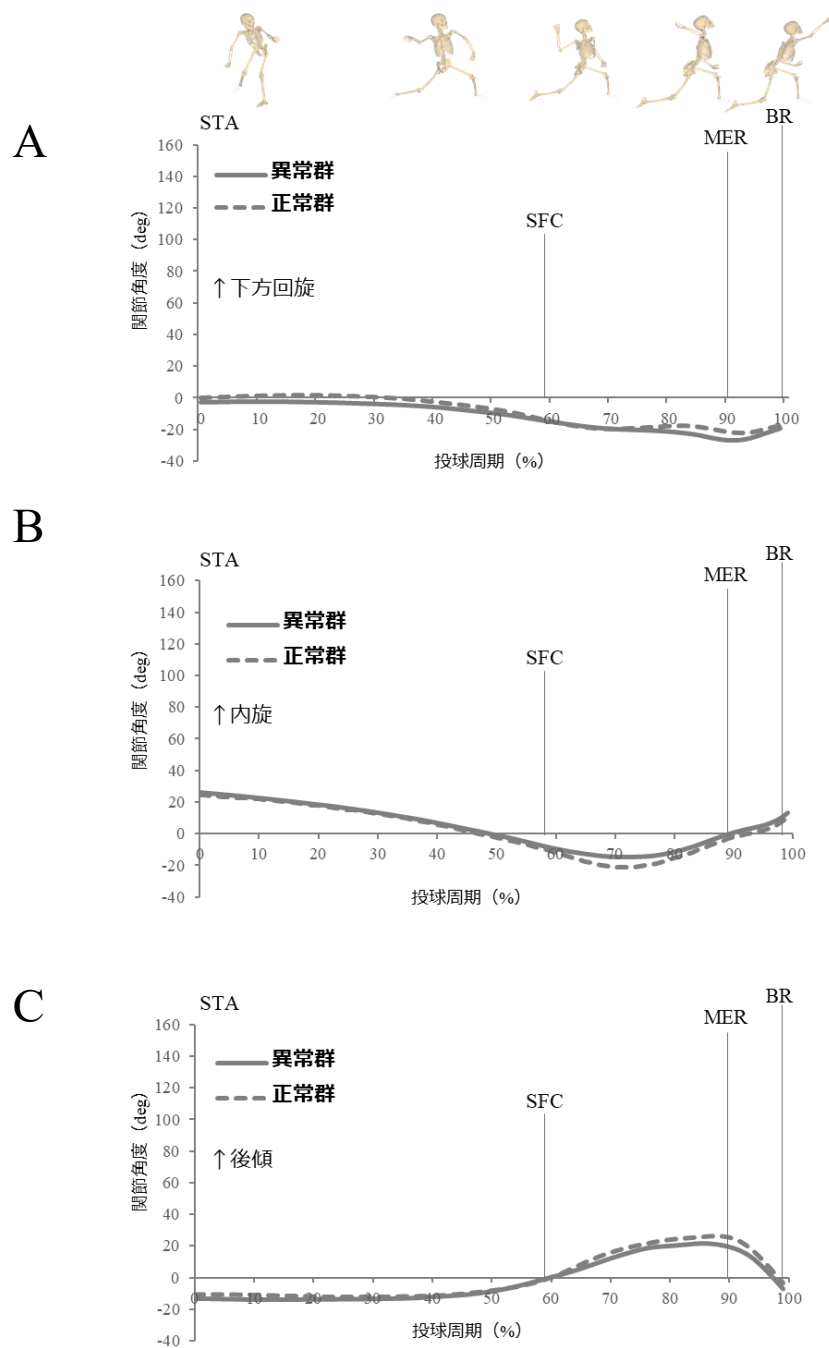


図 19-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の肩甲胸郭関節の関節角度

(A : 下方回旋, B : 内旋, C : 後傾)

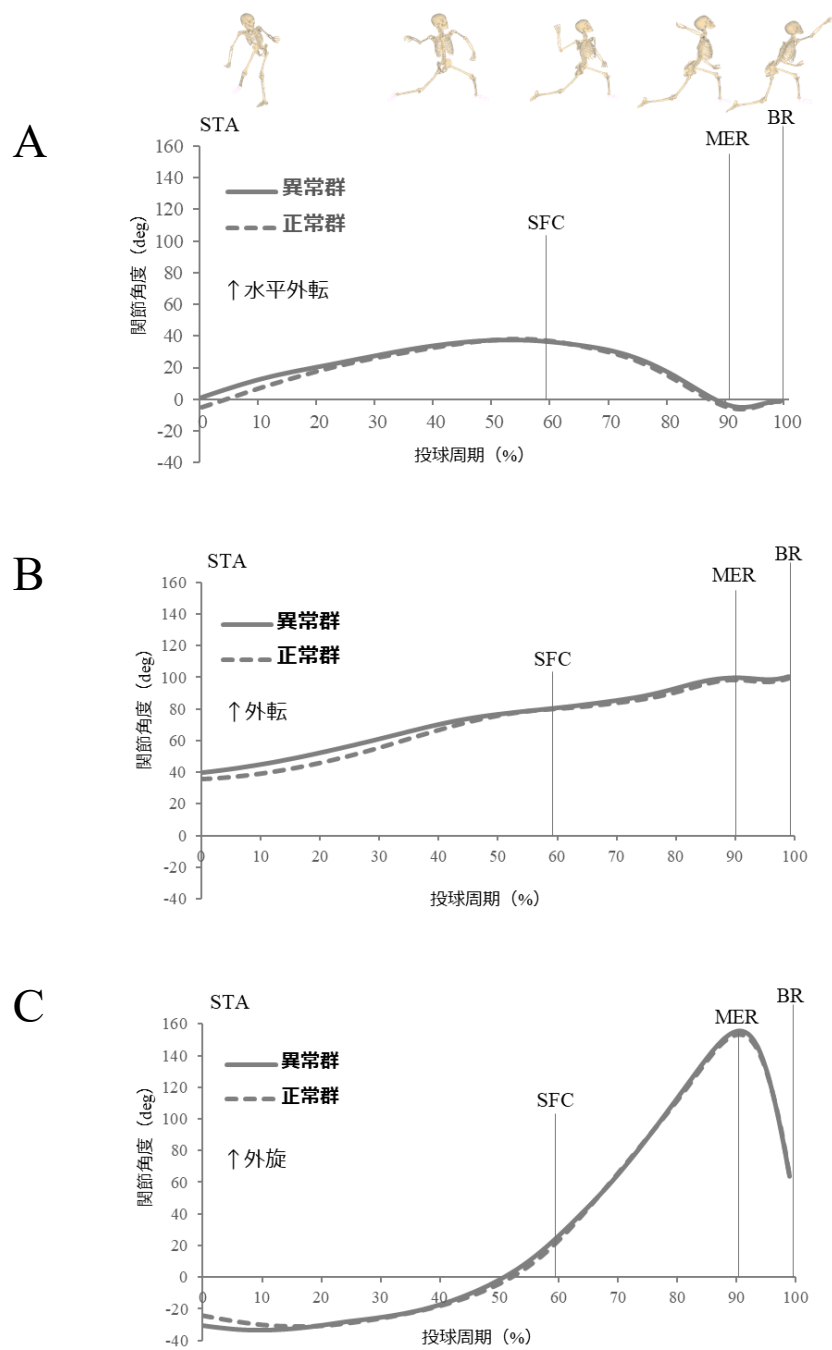
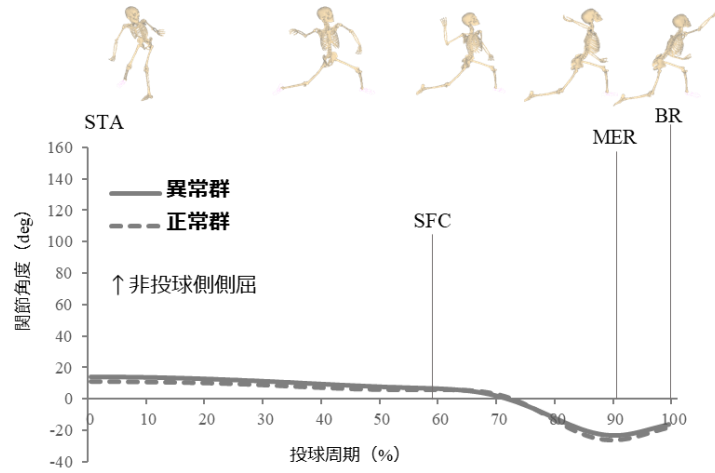


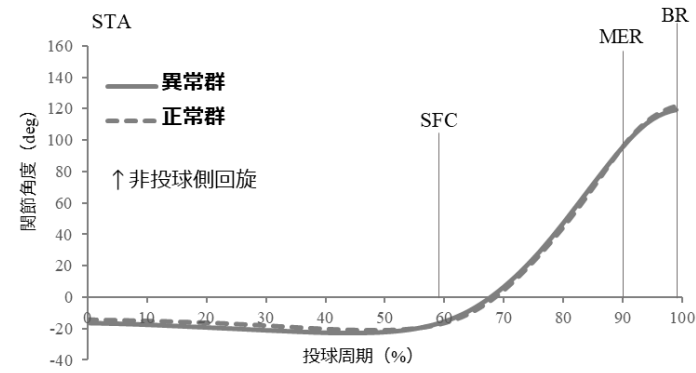
図 20-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の胸郭上腕関節の関節角度

(A : 水平外転, B : 外転, C : 外旋)

A



B



C

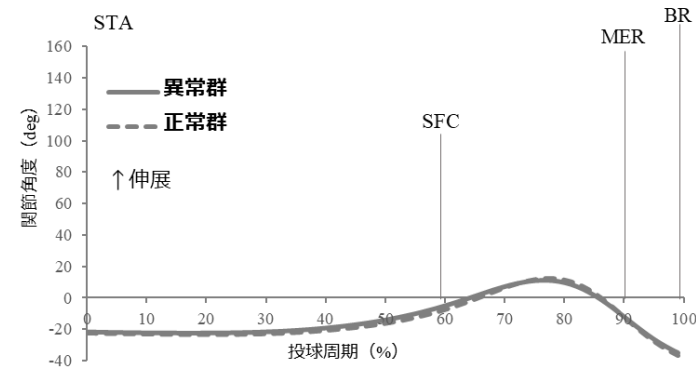


図 21-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の体幹の関節角度

(A：非投球側側屈，B：非投球側回旋，C：伸展)

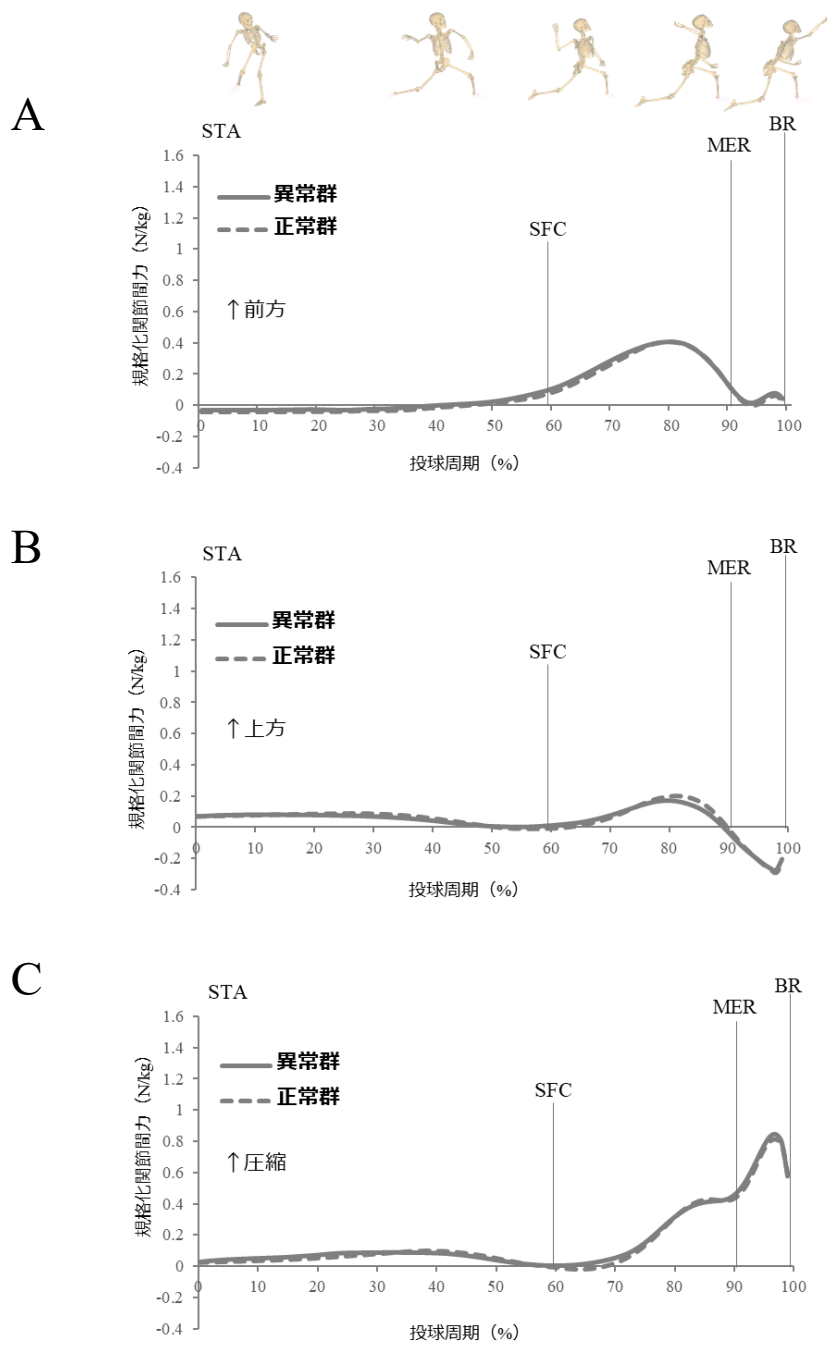


図 22-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の胸郭上腕関節の規格化した関節間力

(A : 前方, B : 上方, C : 圧縮)

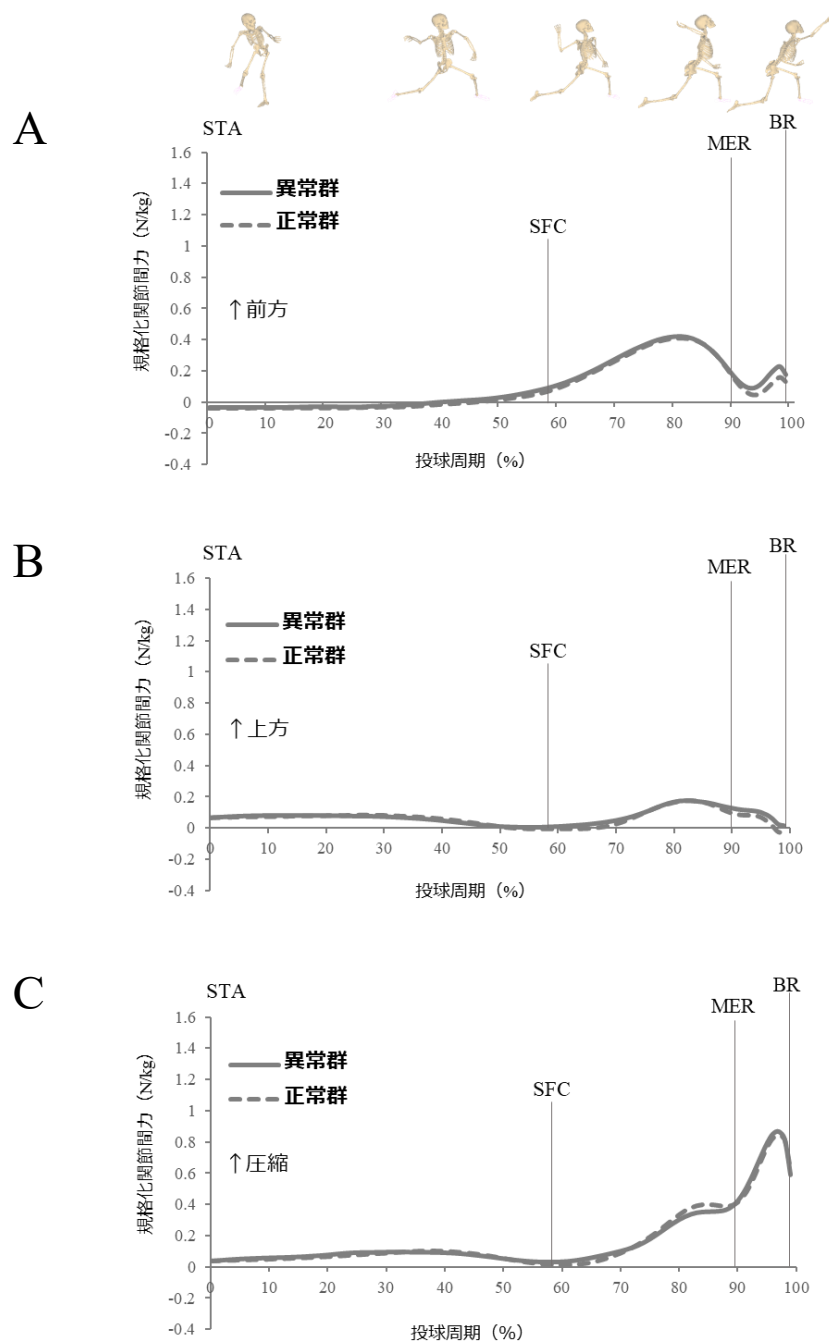


図 23-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の肩甲上腕関節の規格化した関節間力

(A：前方, B：上方, C：圧縮)

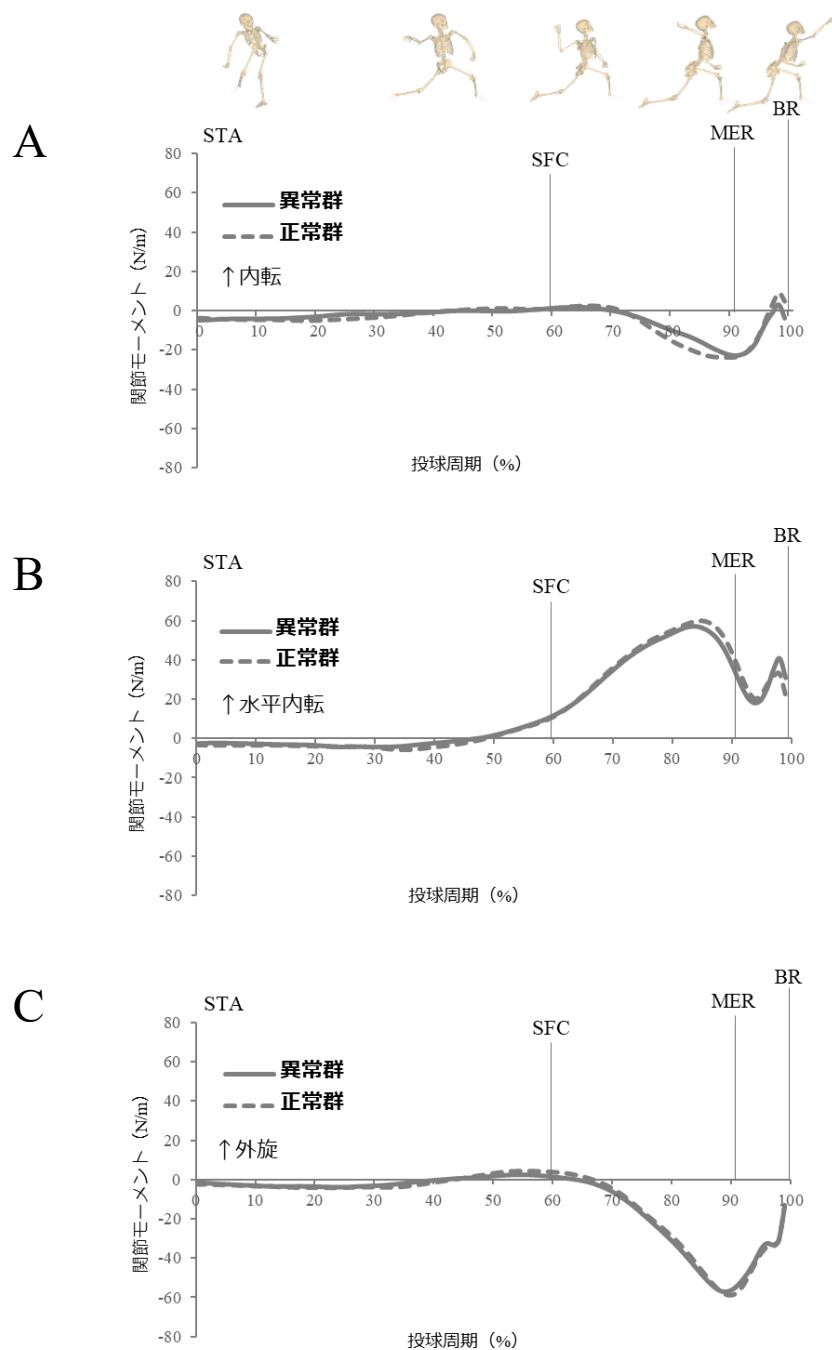


図 24-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の胸郭上腕関節の関節モーメント

(A : 内転, B : 水平内転, C : 外旋)

### 3.4 考察

#### 3.4.1 本研究の結果の概要

本研究の目的は、肩甲骨後傾の低下を呈する肩甲骨の運動異常（SD）を有する野球選手における投球動作中の肩関節の運動学的・動力学的特徴を評価することであった。

本研究の結果より、SD type I（肩甲骨下角の突出）を有する異常群は、投球動作中の肩関節の運動学的特徴において、肩関節最大外旋時（MER）の胸郭上腕関節（TH）の外旋角度に関して正常群に対して有意な差はなかったが（表 6-B：9 行目，図 20-C），MER の肩甲上腕関節（GH）の外旋角度は正常群と比較して約 9°有意に増加し（表 6-B：6 行目，図 18-C），肩甲骨（ST）の後傾角度は約 5°有意に低下していた（表 6-B：3 行目，図 19-C）。さらに ST の後傾角度に関して、後期コッキング期（LC 期）の最大値は 2 群間ともに MER の直前に生じ、異常群は正常と比較して約 5°有意に低下していた（表 7-A：6 行目，図 19-C）。

次に肩関節の動力学的な特徴において、異常群は正常群と比較して LC 期の GH の体重で規格化した前方間力が約 37N（約 4kg）有意に増加していた（表 10-B：7 行目，図 23-A）。一方で、球速，肩関節（GH と TH）や体幹の関節角速度，肩関節（GH と TH）の関節モーメントには 2 群間で有意な差はなかった（表 5，表 8，表 11-A, B，表 12-A, B）。本研究の仮説は SD type I を含めた異常群は正常群と比較して，GH の外旋角度の増加と ST 後傾角度の低下，肩関節（GH と TH）の関節間力と関節モーメントの増加，投

球パフォーマンスが低下するとしていた。以上のことから、本研究結果は GH 外旋と ST 後傾角度、GH の関節間力に関して仮説を支持した。

#### 3.4.2 投球パフォーマンス（球速）

本研究における球速は異常群：約 112 km/h（約 31 m/s）、正常群：約 112 km/h（約 31 m/s）であり、2 群間に有意な差はなかった（表 5：18 行目）。本研究結果より、SD の有無に関わらず、投球パフォーマンス（球速）に差はなかった。Wang らは投球動作中の MER の肩関節外旋角度（TH 外旋角度は約 152°）は球速と正の相関関係があったことを報告している(Wang et al 1995)。本研究における TH 外旋角度は異常群：約 160°、正常群：約 156°であり、Wang らのデータと類似した値であった。さらに、本研究において異常群と正常群の MER における TH 外旋角度に有意な差はなかった（表 6-B：9 行目、図 20-C）。以上のように投球パフォーマンスに関連する MER の TH 外旋角度に SD の有無に差がなかったことから、異常群と正常群の球速の間に有意差がなかったと推察される。

#### 3.4.3 投球動作中の肩関節の角度（先行研究との比較）

以下の表 13-A,B に本研究と先行研究における MER の GH と ST、体幹の関節角度のデータを示す。なお、本研究の主要な結果は MER と LC 期における肩関節の外旋と肩甲骨の後傾であるため、以下に、これらに関連する MER の肩関節および体幹の関節角

度に焦点を絞って、本研究と先行研究のデータの比較について述べる。

本研究における投球動作中の MER の GH の関節角度に関して、外旋は異常群：約 142°、正常群：約 133°（表 13-A：3 行目，図 18-C），水平外転は異常群：約 3°，正常群：約 -1°（表 13-A：4 行目，図 18-A），外転は異常群：約 74°，正常群：約 74°（表 13-A：5 行目，図 18-B）であった。本研究の MER の ST の関節角度に関して、後傾は異常群：約 20°，正常群：約 25°（表 13-A：6 行目，図 19-C），内旋は異常群：約 2°，正常群：約 -1°（表 13-A：7 行目，図 19-B），上方回旋は異常群：約 27°，正常群：約 23°（表 13-A：8 行目，図 19-A）であった。

一方、先行研究における GH の関節角度に関して、外旋は約 106～114°（表 13-A：3 行目）（Konda et al 2015; Miyashita et al 2010），水平外転は約 6°（表 13-A：4 行目）（Konda et al 2015），外転は約 85°（表 13-A：5 行目）（Konda et al 2015）であった。また、先行研究の MER の ST の関節角度に関して、後傾は約 11～24°（表 13-A：3 行目）（Konda et al 2015; Miyashita et al 2010; Oliver & Weimar 2015），内旋は約 15～22°（表 13-A：4 行目）（Konda et al 2015; Oliver & Weimar 2015），上方回旋は約 23～37°（表 13-A：5 行目）（Konda et al 2015; Oliver & Weimar 2015）であった。

以上のように本研究と先行研究における投球動作の MER の GH と ST の関節角度に関して、本研究の MER の GH 外旋は先行研究よりも高値であり、GH の水平外転と外転は Konda らの結果と類似した値であったと考えられる。また、本研究の ST の内旋は

先行研究よりも低値を示し、後傾は Miyashita ら、上方回旋は Konda らの結果と同程度の結果であった。このような差異に対して、Escamilla らと Fleisig らは、投球動作中の肩関節角度は競技レベルや国別で差異が生じていると報告している(Escamilla et al 2002; Fleisig et al 1999; Fleisig et al 2016)。また、Oi らはプロレベルの日本人野球選手の投球動作中の MER の肩関節角度（外転、水平外転、外旋）と投球パフォーマンスに影響するとされる肩関節の最大角速度がプロレベルのアメリカ人野球選手に比較して増加していることが報告されている(Oi et al 2019)。ここで日本人野球選手は、投球パフォーマンスに直結する肩関節の角速度を増加するために、投球動作中の肩関節可動域を拡大させていると考えられている(Oi et al 2019; Roach et al 2013)。本研究の対象である大学とプロレベル（独立リーグレベル）の野球選手は先行研究の野球選手（Konda et al 2015; Miyashita et al 2010; Oliver & Weimar 2015）と比較して、MER における GH の外旋角度が高値を示していた。このことから、本研究の大学やプロレベルの野球選手は投球パフォーマンスを発揮するために、球速に関連する MER の GH 外旋角度を増加するために関節の可動域を拡大することで、加速期における肩関節内旋の角速度の増加に貢献している(Oi et al 2019; Roach et al 2013)ことが推察される。

次に、本研究結果は、Konda らや Oliver と Weimar の研究結果(Konda et al 2015; Oliver & Weimar 2015)よりも MER の ST の内旋が低値を示していた。MER～ボールリリース時（BR）の ST 内旋は、水平面上における肩甲骨関節窩を前方へ向けるため、水平面上

における上腕や肘の位置を決定することに関与すると考えられる。ここで、ST 内旋は上腕を水平内転方向に追従させると考えられる。このことから、MER～BR における ST 内旋が小さくなると BR の位置すなわちボールを離す位置の前方移動が抑制される可能性がある。ここで、BR をより前方に位置させる（投手であればリリースポイントをホームベースの方向に近づける）ことは打者に対して少しでも近い距離でボールを離すため、打者が体感される球速が増加することが推測される。このことから、BR を前方に位置させることは投球パフォーマンスの観点から重要と考えられている。

以上のことから、本研究の大学とプロレベルの野球選手の投球動作の MER における肩関節運動の特徴として、ST 内旋による上腕と肘の位置の前方移動の変化を抑制し、肩関節の外旋を増加させることにより、投球腕の手部を後方にしなせたと一般的に表現される動作を呈していたことが考えられる。ここで、指導現場では投球動作中の肩関節の外旋運動の増加は投球側の前腕と手部を身体の後方に向かってしなせる動作を引き起こすことが知られている(松尾 et al 2013)。以上のように、野球選手における GH と ST の運動は投球パフォーマンスを発揮する動作のパターンは競技レベルの違いにより異なる可能性が推察された。なお、本研究におけるその他の GH 角度に関しては先行研究と類似した値で評価できていた。

#### 3.4.4 投球動作中の体幹の角度（先行研究との比較）

次に本研究における MER の体幹角度に関して、屈曲は異常群：約 15°，正常群：約 15°（表 13-B，3 行目，図 21-C），非投球側回旋は異常群：約 101°，正常群：約 100°（表 13-B：4 行目，図 21-B），非投球側側屈は異常群：約 24°，正常群：約 26°（表 13-B：5 行目，図 21-A）であった。一方で、先行研究における MER の体幹角度に関して、屈曲は約 20°（表 13-B：3 行目）(Oyama et al 2013)，非投球側回旋は約 80～96°（表 13-B：4 行目）(Kageyama et al 2015; Oyama et al 2013)，非投球側側屈は約 13～22°（表 13-B：5 行目）(Barfield et al 2018; Kageyama et al 2015; Oyama et al 2013)であった。以上の本研究と先行研究における投球動作中の MER の体幹角度について、屈曲と非投球側の回旋，側屈角度は Oyama らの報告と類似していた。

#### 3.4.5 投球動作中の肩関節の関節間力と関節モーメント（先行研究との比較）

次に、以下の表 14 に本研究と先行研究におけるの LC 期における TH の関節間力と関節モーメントの最大値のデータを示す。なお、本研究の主要な結果は LC 期における肩関節の動学的パラメータ（前方間力）であるため、LC 期の肩関節の関節間力と関節モーメントに焦点を絞って、本研究と先行研究のデータの比較する。また、先行研究における投球動作中の肩関節の関節間力と関節モーメントの結果について、著者が渉猟した中で、GH に着目した報告がなかったため、TH のデータのみ示す。

本研究における投球動作中の LC 期の TH の関節間力の最大値に関して、TH の前方

間力は異常群：約 343N, 正常群：約 323N (表 14：6 行目), 上方間力は異常群：約 174N, 正常群：約 170N (表 14：7 行目), 圧縮間力は異常群：約 359N, 正常群：約 349N (表 14：8 行目) であった。一方, 先行研究における LC 期の TH の関節間力の最大値の報告は非常に少ない。唯一, Fleisig らが投球動作中の TH の関節間力の特徴について報告している(Fleisig et al 1995)ため, 以下に Fleisig らの研究結果を示す。前方間力約 380N (表 14：6 行目), 圧縮間力は約 660N (表 14：8 行目) であった(Fleisig et al 1995)。上方間力に関しては報告がなかった。

次に, 本研究における投球動作中の LC 期の TH の関節モーメントの最大値に関して, TH の内転は異常群：約 6N/m, 正常群：約 7N/m (表 14：7 行目), 水平内転は異常群：約 31N/m, 正常群：約 34N/m (表 14：8 行目), 内旋は異常群：約 60N/m, 正常群：約 59N/m (表 14：8 行目) であった。一方, 先行研究における LC 期の TH の関節モーメントに関して, 水平内転は約 94～110N/m(Feltner 1986; Fleisig et al 1995; Oi et al 2019) (表 14：10 行目), 内旋は約 67～100N/m(Feltner 1986; Fleisig et al 1995; Oi et al 2019) (表 14：11 行目) であった。内転モーメントの報告はなかった。

以上の本研究と先行研究のデータ比較において, 本研究で算出した投球動作中の肩関節の関節間力と関節モーメントの数値は先行研究のデータに比較して小さい値であった。投球動作中の関節モーメントや関節間力は身長や体重, 腕の長さなどの体格, 球速に関連していることが報告されている(Escamilla et al 2002; Fleisig et al 1995; Oi et al 2019;

Okoroha et al 2018; Slowik et al 2019). 本研究の対象者の平均身長, 体重, 球速は先行研究の対象者と比較して低値であった. (表 14: 3~5 行目). このことから, 本研究の対象者は先行研究と比較して, 体格(身長, 体重)が小さく, 投球パフォーマンスが低い(球速が小さい)ものであったと言える. アメリカなどの外国人野球選手は日本人野球選手と比較して, 体格が大きく, 投球動作のパフォーマンスに必要な筋の発揮が強力であることから, 球速が速く, 関節に生じる力や関節モーメントが大きくなると報告されている(Oi et al 2019). 先行研究の関節モーメントと関節間力と比較するため本研究の解析結果は, 身長や体重で規格化していない数値(生データ)を用いた. そのために体格や球速に関連した結果に差が生じたと考えられる. ここで, Oi らの報告では, プロレベルの日本人野球選手における投球動作中の肩関節の最大角度(外転, 水平外転, 外旋)はアメリカ人野球選手よりも大きい. また, 日本人野球選手の体格(身長, 体重)で規格化した肩関節の関節間力や関節モーメントは, アメリカ人野球選手よりも大きいと報告されている(Oi et al 2019). このことから, 日本人野球選手は外国人野球選手に比較して, 投球動作中の肩関節の外転や外旋, 水平外転の増大により, 肩関節の関節唇や腱板などの肩関節周囲の軟部組織に対する力学的ストレスが増大しているために, 肩関節障害の発症リスクが高いと考えられている(Oi et al 2019).

#### 3.4.6 異常群 (type I含む) における投球動作と肩関節障害との関連性

本研究結果より, 肩関節の運動学的パラメータに関して, 異常群は正常群と比較して,

投球動作中の MER の GH 外旋が有意に増加し、MER や LC 期の最大の ST 後傾が有意に低下していた。また、動力学的パラメータに関して、異常群は正常群よりも LC 期の体重で規格化した TH の前方間力に有意差はなかったが、GH の前方間力が有意に増加していた。

先行研究より、GH の過剰な外旋は上腕骨頭の偏位の増加や上腕二頭筋-上方関節唇複合体の過度な伸張や捻じれによって、肩関節の後上方で棘下筋と肩甲骨の関節窩が衝突する病態であるインターナルインピンジメント（肩関節の後方に生じるインピンジメント）や肩前上方関節唇（SLAP）損傷を引き起こすことが報告されている (Kuhn et al 2003; Mihata et al 2012; Mihata et al 2004; Mihata et al 2008; Mueller et al 2013; Weiser et al 1999)。

また、SD（肩甲骨内側縁の突出）をともなった GH 外旋運動は上腕骨頭の前方への偏位量を増加させる (Mueller et al 2013)。上腕骨頭の前方偏位の増加は腱板や肩関節の前方関節包の伸張ストレスを増加させ、腱板損傷や前方関節包の弛緩性の増加による肩関節不安定症の発症に関与する (Takagi et al 2014)。これらの知見から、本研究における肩甲骨後傾の低下を呈する SD type I を有する野球選手の投球動作中の MER の GH 外旋の増加と ST 後傾の低下は肩関節の前上方に生じる SLAP 損傷や肩関節の後方に生じるインターナルインピンジメントの発症に関与する可能性がある。また、SD type I にともなう投球動作中の LC 期の GH の前方間力の増加は腱板損傷や肩関節前方不安定症などの肩関節の前方障害の発症につながる可能性があると考えられる。すなわち、GH の過剰な外

旋は肩関節の前上方関節唇や上腕二頭筋長頭筋腱の過度な伸張ストレスや棘下筋などの肩関節後方の筋に対する圧迫ストレスの増加を引き起こすと考えられる。また、LC期のGHの前方間力の最大値の増加は肩関節前方の軟部組織の伸張ストレスを増加させると推察できる。

以上のことから、SD type Iを有する野球選手の肩関節障害を未然に防ぐためには、投球動作中のGHの過剰な外旋の抑制と肩甲骨後傾の増加により、LC期のGHの前方間力、すなわち上腕骨頭の前方偏位を減少させることが非常に重要であると考えられる。また、SDTによるSDの4 type分類を用いたスクリーニングを実施することはSDにもなう投球動作中のGHの過剰な外旋や上腕骨頭の前方偏位の増加を呈している状態を適切に評価できるため、野球選手の肩関節障害の予防に貢献することが期待される。

### 3.4.7 肩甲骨の運動異常 type Iの原因とその改善方法

そもそも肩甲骨下角の突出をともなうSD (type I)の原因は、小胸筋の柔軟性低下(Burkhart et al 2003; Provencher et al 2017), 前鋸筋や僧帽筋下部線維の筋力低下(Burkhart et al 2003), 前鋸筋の疲労や筋活動の低下(Ellenbecker & Cools 2010; Huang et al 2015; Martin & Fish 2008), 僧帽筋上部線維に対する前鋸筋の筋活動比の低下(肩甲骨周囲筋の筋活動のバランスの低下)(Pirauá et al 2014), 僧帽筋上部線維や肩甲拳筋の筋活動の増加(Digiovine et al 1992)などの肩甲骨周囲筋の機能障害が影響している。これらの肩甲骨周囲筋の機能障害は、投球動作中のMERの肩甲骨後傾の低下に関与している

(Burkhart et al 2003; Ellenbecker & Cools 2010; Harrison et al 2021; Hodgins et al 2017). このことから、肩甲骨下角の突出を引き起こす肩甲骨周囲筋の機能を改善することで、投球動作中の LC 期の肩甲骨後傾が増加し、結果として、MER の GH の過剰な外旋と LC 期の GH の前方間力を抑制できると考えられている(Burkhart et al 2003).

投球動作中の肩甲骨の後傾を増加させる具体的な方法について提案する. 本研究の対象者のように、肩関節障害の発症リスクの高い無症状の SD を有する野球選手に対しては、GH の外旋を抑制し肩甲骨の後傾を増やすために、肩甲骨周囲筋のみに対する介入と肩甲骨以外の関節に対する介入の 2 点を実施する. まず、肩甲骨周囲筋のみの介入として、小胸筋に対するストレッチング(Umehara et al 2018) (図 33) や前鋸筋、僧帽筋下部線維に対する筋力トレーニング(Kibler et al 2013; Miyasaka et al 2021; Oyama et al 2010) (図 34-A, B) を実施する. このように個別の肩甲骨周囲筋への介入により、肩甲骨の後傾が改善されることが報告されている (Başkurt et al 2011; Burkhart et al 2003; Morais & Cruz 2016; Umehara et al 2018).

投球動作は下肢や体幹、上肢で構成される全身運動であることから、肩甲骨周囲筋のみの局所的な問題が改善されたら、次は体幹や股関節などの肩甲骨に隣接する体幹や股関節の動きを加えたエクササイズ (図 35, 36) により肩甲骨の後傾を増加させる. ここで、肩甲骨運動は、股関節の内外旋や体幹の回旋、伸展の動きを加えることで増加することが知られている(Kibler et al 2013; Oliver & Weimar 2015; Yamauchi et al 2015). また、

投球動作中の LC 期の肩甲骨後傾は、前方ランジ位で体幹の回旋を加えた肩甲骨リトラクションエクササイズにより増加することが報告されている(松村 2019)。以上のことから、投球動作中の肩甲骨の後傾が低下している野球選手に対して、小胸筋のストレッチや前鋸筋、僧帽筋下部線維の筋力トレーニングに加えて、投球動作を考慮した股関節や体幹運動を加えた肩甲骨のエクササイズを実施することが非常に重要であると考えられる。

以上の介入を実施することにより、肩甲骨後傾の低下をともなう SD を有する野球選手の投球動作中の MER や LC 期の肩甲骨後傾が増加すると期待され、MER における GH の過剰な外旋と LC 期の GH の前方間力を抑制させることにより、結果として、野球選手の肩関節障害の発症の予防に寄与できると考えられる。

## まとめ

本研究の目的は、肩甲骨後傾の低下を呈する肩甲骨の運動異常 (SD type I) を有する野球選手における投球動作中の肩関節の運動学的・動力学的な特徴を評価することであった。この結果、SD type I (肩甲骨下角の突出) を含む異常群の球速と投球動作中の肩関節最大外旋時 (MER) の胸郭上腕関節 (TH) の外旋角度は正常群に対して有意な差は認められなかった (表 5, 表 6-B : 9 行目, 図 20-C)。一方で、異常群の MER の肩甲骨上腕関節 (GH) の外旋角度は正常群と比較して約 9°増加し (表 6-B : 6 行目, 図 18-C), MER と LC 期 (最大値) の肩甲骨 (ST) の後傾角度は約 5°低下していた (表 6-B : 3 行

目，図 19-C). また，異常群は正常群と比較して LC 期の GH の規格化（体重）した前方間力が有意に増加していた（表 10-B：7 行目，図 27-A). 以上のことから，投球動作中の GH の過剰な外旋と GH の前方間力の増大を呈する SD type I を有する野球選手は肩関節障害の発症リスクが増大していることが示唆された.

表

表 13-A 本研究と先行研究における投球動作中の肩関節最大外旋時の肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の角度

関節角度 [deg]		本研究 (異常群)	本研究 (正常群)	Miyashita et al.	Konda et al.	Oliver and Weimar
対象		23	22	20	20	25
競技レベル		大学～独立リーグレベル	大学～独立リーグレベル	大学レベル	プロレベル	小学～中学レベル
肩甲上腕関節	外旋	142	133	106	114	-
	水平外転	3	-1	-	6	-
	外転	74	74	-	85	-
肩甲胸郭関節	後傾	20	25	24	11	14
	内旋	2	-1	-	15	22
	上方回旋	27	23	-	23	37

<sup>a</sup>平均

表 13-B 本研究と先行研究における投球動作中の肩関節最大外旋時の体幹の角度

関節角度 [deg]		本研究 (異常群)	本研究 (正常群)	Oyama et al.	Kageyama et al.	Barfield et al.
対象		23	22	72	30	33
競技レベル		大学～独立リーグレベル	大学～独立リーグレベル	高校レベル	大学レベル	小学～中学レベル
体幹	屈曲	15	15	20	-	-
	非投球側回旋	101	100	96	80	-
	非投球側側屈	24	26	22	13	15

<sup>a</sup>平均

表 14 本研究と先行研究における投球動作中の後期コッキング期の胸郭上腕関節の関節間力と関節モーメントの最大値

		本研究 (異常群)	本研究 (正常群)	Fleisig et al. 1995	Feltner and Dapena 1986	Oi et al. 2019	Oi et al. 2019
対象数 [名]		23	22	26	8	19	19
競技レベル		大学～独立リーグレベル	大学～独立リーグレベル	大学～プロレベル	大学レベル	プロ (日本)	プロ (アメリカ)
身長 [cm]		175	176	-	186	180	188
体重 [kg]		75	77	-	84	79	96
球速 [m/s]		31	31	38	34	35	38
胸郭上腕関節							
関節間力 [N]	前方間力	343	323	380	-	-	-
	上方間力	174	170	-	-	-	-
	圧縮間力	359	349	660	-	-	-
関節モーメント [N/m]	内転	6	7	-	-	-	-
	水平内転	31	34	100	110	94	101
	内旋	60	59	67	90	85	100

<sup>a</sup>平均

図



図 33 小胸筋に対するストレッチング



図 34-A 前鋸筋に対する筋力トレーニング



図 34-B 僧帽筋下部線維に対する筋力トレーニング

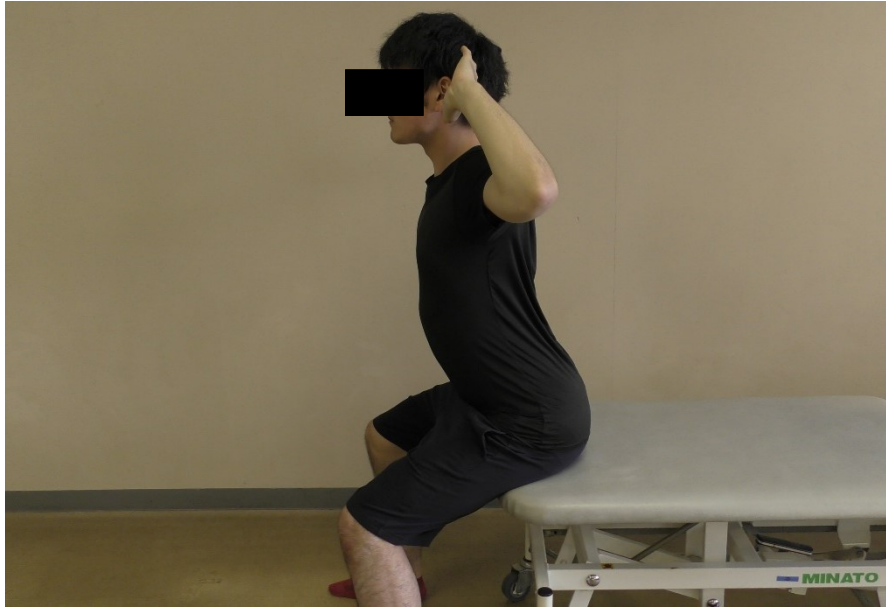


図 35 体幹運動を加えた肩甲骨エクササイズ



図 36 股関節運動を加えた肩甲骨エクササイズ

## 第4章 総括

### 4.1 本研究のまとめ

野球の投球動作において肩関節は、広範囲かつ高速度に運動することから、投球パフォーマンスに関与する主要な関節のひとつである。その一方で、投球動作中の肩関節の過剰な運動は肩関節障害を引き起こすことが知られている。とくに肩甲骨の運動異常（SD）は投球パフォーマンスの低下や投球動作中の肩関節の過剰な運動の要因であると言われているが、従来の研究ではエビデンスが十分に確立されているとはいえなかった。そこで、本研究の目的は SD と投球パフォーマンスの指標である球速、肩関節の外旋と肩甲骨の後傾との関連性を明らかにすることとした。この目的を達成するために本論文は以下の2つの研究を実施した。

研究1（第2章）として、無症状の大学とプロレベル（独立リーグ）レベルの野球選手64名を対象に、2kgの負荷を把持した状態で肩関節を挙上・下制させる肩甲骨の運動異常テスト（SDT）を用いて、SDを4つのtypeに分類した。SDの4type分類の結果、2名の検者の評価が一致した51名の対象者の中で、type I（肩甲骨下角の突出）は24/51名（47%）、type II（肩甲骨内側縁の突出）は9/51名（18%）、type III（肩甲骨の過剰な挙上および上方回旋）は6/51名（12%）、type IV（正常）は25/51名（49%）であった。先行研究より、有症状の野球選手において、肩関節障害の発症に関連するSDの発生は、SDのないものと比較して、約7.3倍多いことが報告されている(Park et al 2013)。

また、無症状の SD を有するものは肩関節障害の発症リスクは SD のないものと比べて、8.4 倍高いと報告されている (Clarsen et al 2014)。これらのことから、SD を有する野球選手は無症状であっても潜在的に肩関節障害の発症リスクが高いと考えられ、野球選手に対して SDT による SD のスクリーニング評価が有用であることが示唆された。

研究 2 (第 3 章) として、肩甲骨の後傾が低下する SD type I (肩甲骨下角の突出) を有する野球選手 (異常群) と正常な肩甲骨運動である野球選手 (正常群) を比較することで、SD に対する投球動作中の肩関節の運動学的・動力学的な変化を定量的に評価した。この結果、肩関節の運動学的な解析において、SD type I を含む異常群 (23 名) の球速と投球動作中の肩関節最大外旋時 (MER) の胸郭上腕関節 (TH) の外旋角度は正常群 (22 名) に対して有意な差は認められなかった。一方で、異常群の MER の肩甲上腕関節 (GH) の外旋角度は正常群と比較して約  $9^{\circ}$  増加し、MER と LC 期 (最大値) の肩甲骨 (ST) の後傾角度は約  $5^{\circ}$  低下していた。また、肩関節の動力学的な解析に関して、異常群は正常群と比較して LC 期の GH の規格化 (体重) した前方間力が約 37N (約 4kg) 有意に増加していた。以上のことから、投球動作中の GH の過剰な外旋と GH の前方間力の増大を呈する SD type I を有する野球選手の投球動作では、肩関節周囲の軟部組織の捻じれや前方剪断力が増加し、肩関節障害の発症リスクが高まっている状態であることが示唆された。さらに、研究 1 の結果と併せると、無症状の野球選手の中にも肩関節障害の発症リスクが高まっている選手が一定の割合で存在し、それらの選手のスクリー

ニング評価として SDT による SD の 4type 分類が有用であることが示唆された。本研究  
成果は SD を有する野球選手に対する科学的根拠のあるリハビリテーションや障害予防  
法の確立に貢献することが期待される。

#### 4.2 本研究における臨床的意義

- 本研究より、野球選手に対して肩関節の挙上と下制運動を用いた肩甲骨の運動異常  
テスト（SDT）を実施することで肩甲骨の運動異常(SD)を 4 type に分類できた。
- SDT を用いた SD の 4 type 分類は投球動作中の肩甲上腕関節（GH）の過剰な外旋  
と肩甲骨後傾の低下，GH の前方剪断力の増加をスクリーニングできる簡易な評価  
方法であることが明らかになった。
- 本研究結果における SD を有する野球選手の投球動作中の GH の過剰な外旋と GH  
の前方剪断力の増加は，投球障害肩の発症メカニズムを理解する上で重要なエビデ  
ンスになると考えられる。
- 肩甲骨下角の突出（SD type I）をともなった野球選手に対しては，投球動作中の肩  
甲骨をより後傾させるよう介入することで，GH の過剰な外旋を抑制できる可能性  
がある。
- 本研究結果は SD を有する野球やハンドボール，テニスなどのオーバーヘッドアス  
リートに対する科学的根拠のあるリハビリテーションや障害予防法の構築に貢献

する知見であることが期待される。

#### 4.3 本研究の限界

本研究の限界について 6 点述べる。

第 1 に、本研究の acromion marker cluster (AMC) 法を用いた投球動作中の肩甲骨運動の計測に関して、肩関節運動にともなう皮膚の滑走により肩甲骨上に貼付した肩峰マーカークラスタの位置にズレが生じ、測定誤差を完全には排除できないことである。先行研究における AMC 法における測定誤差に関して、肩関節挙上  $120^{\circ}$  以下では  $10^{\circ}$  未満、挙上  $120^{\circ} \sim 150^{\circ}$  では  $10^{\circ}$  以上であることが報告され(Karduna et al 2001)、AMC 法の測定誤差は肩関節挙上  $120^{\circ}$  以上で大きく増加することが知られている。本研究における投球動作中の肩関節挙上角度の最大値(胸郭上腕関節の外転角度)は、異常群:平均  $101^{\circ}$ 、正常群:平均  $99^{\circ}$  であり、両群ともに測定誤差の増大する  $120^{\circ}$  よりも小さい値であった。このことから、本研究の投球動作中の肩甲骨の運動データは、誤差が増加する肩関節の挙上角度以下の姿勢であったことから、測定誤差の影響が少ない姿勢で計測できていたと考えられる。

第 2 に、投球動作中の肩甲骨運動の計測において、関節に貼付したマーカーより肩甲骨上に貼付したマーカーに対して計測ノイズが生じやすかったことである。本研究で用いた AMC 法や先行研究で用いられている磁気センサは投球動作のような高速でダイナミッ

クな肩関節運動に対しては、センサが運動に影響を与え、測定誤差が増加することが知られている(Konda et al 2015). 本研究では AMC を小型軽量化 (3g) することで、高速でダイナミックな肩関節運動に対して AMC 自体が運動を阻害することを軽減した. そのため、関節に貼付したマーカ (直径 12mm) よりも小さいマーカ (直径 4mm) を AMC で利用する必要があった. 小型マーカは、大型マーカよりも反射する光の強度が小さくなるため、カメラで計測する場合にノイズの影響を受けやすい. そのため、BR 以降の投球位相においては、カメラに対して腕が AMC を隠す姿勢となりやすく、マーカも小さいため、測定ノイズが増大し、解析が困難であった. しかしながら、多くの被験者に対して投球の開始からボールリリース時 (BR) 間において、肩甲骨上に貼付したマーカは、カメラ設置の最適化によって、測定中に生じるノイズを軽減して計測できたことが実験段階で確認できた. このことから、本研究の AMC を用いた投球動作中の肩甲骨運動の計測は BR まで可能であったが、BR 以降の投球位相における測定は困難であった.

第 3 に、本研究の対象者の中で、肩甲骨の運動異常 (SD) の type II と III の発生数が type I に比較して非常に少なかったため、本研究結果から、SD type II と III を有する野球選手の投球動作中の肩関節の運動学・動力学的な特徴は明らかにできなかった. 今後、対象者をさらに増やすことで、type I 以外の SD type が投球動作に及ぼす影響を検証していきたい.

第 4 に、本研究では、SD type の特徴に関して、野球のポジション (投手、捕手、内

野手、外野手)別の検討が行えていない。例えば、投手は他ポジションに比較して、投球数や投球強度が増加していると考えられ、SD type の特徴に影響を与えることが推察される。このことから、今後はポジションと SD type の関連性についても調査する必要がある。

第 5 に、本研究で用いた SD 評価は、先行研究で示されているように検者が身体の背面から肩甲骨運動を視覚的な観察に基づいた定性的な評価であるため、SD type I や II のような肩甲骨の内側縁や下角の突出の程度は定量的に評価できなかった。肩甲骨の突出の定量的な評価において、肩甲骨の内側縁や下角の突出の程度が大きい程、肩関節運動中の肩甲骨の外旋や後傾運動が低下することが推察される。近年の研究で、肩甲骨の運動異常テスト (SDT) 中の肩甲骨内側縁や下角の突出の程度を定量的に評価する手法 (Totlis et al 2021) が報告され始めていることから、今後は肩甲骨の内側縁や下角の突出の定量的な評価と投球動作中の肩甲骨運動との関連性を明らかにしたい。

第 6 に、本研究は横断的な研究であるため、無症状の野球選手の SD の発生特性や SD type を有する野球選手の投球動作中の肩関節運動の特徴が肩関節障害の発生に関与するか否かに関しては明らかにできなかった。今後、SD をともなう野球選手における SDT や投球動作中の肩関節運動の計測に加えて、アンケート調査を用いた症状の聴取や MRI 検査による肩関節周囲の病変の評価を前向きに実施することで、SD や投球動作中の肩関節の運動学・動力学データと肩関節の障害発生との関連性を明らかにしたい。

#### 4.4 将来の展望

本研究結果は、SDT を用いた SD のスクリーニングにより、投球動作における MER の GH の過度な外旋や LC 期の GH の前方間力の増加といった肩関節の運動異常を有する選手を検出できる可能性を示したと考えられる。SDT による簡易的な評価により、投球動作中の肩関節運動の異常を適切に判別することで、理学療法士が SD を有する野球選手に対して、重点的に投球動作中の肩関節の運動異常を改善するための最適なトレーニング方法を即座にフィードバックすることが可能になると考えられる。この結果、SD を有する野球選手の投球障害肩の発症リスクが減少すると考えられる。

将来的には、野球選手に対する肩関節の障害予防システムを構築したい。具体的には、SD を評価するための肩甲骨運動を撮影した動画に対して人工知能に SD の判定基準を学習させることができれば、人工知能を用いてより多くの野球選手に対して、医師や理学療法士が実施しているような肩関節障害のスクリーニング評価が提供できると考えられる。その上で、SD に対する効果的なトレーニング方法を選手にフィードバックできれば、スポーツ現場の適切なサポートにつながると考えられる。本研究の知見は、SD を有する野球選手の投球側の肩関節のバイオメカニクスの特徴を明らかにしたことから、そのための基礎的な知見になると期待できる。将来的にこのような医療従事者と人工知能を併用したヒトとテクノロジーのサポート体制を構築することは、選手やコーチが肩関節障害の発症の予測や効果的な障害予防法をより容易に現場で行えることに

つながり、1人でも多くの野球選手を肩関節障害から救えるのではないかと期待している。

## 謝辞

本論文を進めるあたり，多大なご指導，ご協力を賜りました指導教員である同志社大学スポーツ健康科学部の中村康雄教授に深甚なる感謝の意を表します．また，本博士論文に対して，大変貴重なご助言を賜りました同志社大学スポーツ健康科学部井澤鉄也教授と北條達也教授に深謝申し上げます．本研究を進めるにあたり，計測方法や本研究の臨床的な接点などのご指導を頂きました株式会社テイクフィジカルコンディショニング理学療法士の松村葵氏（同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科博士後期課程卒業生），阪堺病院整形外科医師の大木毅氏と新熊孝文氏にも深く感謝いたします．そして，本研究に対して，多数の貴重なご指導を賜りました同志社大学スポーツ健康科学部の教員の皆様，実験にご協力頂いた選手の皆様，スポーツバイオメカニクス研究室の皆様に深く感謝申し上げます．

最後に，常に心身のサポートをしていただいた家族や仕事のフォロー等を頂いた阪堺病院リハビリテーション部のスタッフの皆様に厚く感謝申し上げます．

## 参考文献

- Aguinaldo A. L., Chambers H. 2009 Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *Am J Sports Med* 37: 2043-2048.
- Apreleva M., Hasselman C. T., Debski R. E., Fu F. H., Woo S. L., Warner J. J. 1998 A dynamic analysis of glenohumeral motion after simulated capsulolabral injury. A cadaver model. *J Bone Joint Surg Am* 80: 474-480.
- Barfield J. W., Anz A. W., Andrews J. R., Oliver G. D. 2018 Relationship of glove arm kinematics with established pitching kinematic and kinetic variables among youth baseball pitchers. *Orthop J Sports Med* 6: 2325967118784937.
- Başkurt Z., Başkurt F., Gelecek N., Özkan M. H. 2011 The effectiveness of scapular stabilization exercise in the patients with subacromial impingement syndrome. *J Back Musculoskeletal Rehabil* 24: 173-179.
- Beckett M., Hannon M., Ropiak C., Gerona C., Mohr K., Limpisvasti O. 2014 Clinical assessment of scapula and hip joint function in preadolescent and adolescent baseball players. *Am J Sports Med* 42: 2502-2509.
- Berthold J. B., Burg T. M., Nussbaum R. P. 2017 Long Thoracic Nerve Injury Caused by Overhead Weight Lifting Leading to Scapular Dyskinesis and Medial Scapular Winging. *J Am Osteopath Assoc* 117: 133-137.
- Blache Y., Gillet B., Selin J., Sevrez V., Rogowski I. 2018 Scapular kinematics during scaption in competitive swimmers. *Eur J Sport Sci* 18: 659-666.
- Borstad J. D., Ludewig P. M. 2005 The effect of long versus short pectoralis minor resting length on scapular kinematics in healthy individuals. *J Orthop Sports Phys Ther* 35: 227-238.
- Brochard S., Lempereur M., Rémy-Néris O. 2011 Double calibration: an accurate, reliable and easy-to-use method for 3D scapular motion analysis. *J Biomech* 44: 751-754.
- Brown K. E., Stickler L. 2011 Shoulder pain and dysfunction secondary to neural injury. *Int J Sports Phys Ther* 6: 224-233.
- Bullock G. S., Strahm J., Hulburt T. C., Beck E. C., Waterman B. R., Nicholson K. F. 2021 Relationship Between Clinical Scapular Assessment and Scapula Resting Position, Shoulder Strength, and Baseball Pitching Kinematics and Kinetics. *Orthop J Sports Med* 9: 2325967121991146.
- Burkhart S. S., Morgan C. D., Kibler W. B. 2000 Shoulder injuries in overhead athletes. The "dead arm" revisited. *Clin Sports Med* 19: 125-158.
- Burkhart S. S., Morgan C. D., Kibler W. B. 2003 The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part I: pathoanatomy and biomechanics. *Arthroscopy* 19: 404-420.
- Burkhart S. S., Morgan C. D., Kibler W. B. 2003 The disabled throwing shoulder: spectrum of

- pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy* 19: 641-661.
- Burkhart S. S., Morgan C. D., Kibler W. B. 2003 The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology. Part II: evaluation and treatment of SLAP lesions in throwers. *Arthroscopy* 19: 531-539.
- Burn M. B., McCulloch P. C., Lintner D. M., Liberman S. R., Harris J. D. 2016 Prevalence of Scapular Dyskinesis in Overhead and Nonoverhead Athletes: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med* 4: 2325967115627608.
- Carnevale A., Longo U. G., Schena E., Massaroni C., Lo Presti D., Berton A., Candela V., Denaro V. 2019 Wearable systems for shoulder kinematics assessment: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord* 20: 546.
- Chalmers P. N., Erickson B. J., D'Angelo J., Ma K., Romeo A. A. 2019 Epidemiology of Shoulder Surgery Among Professional Baseball Players. *Am J Sports Med* 47: 1068-1073.
- Chou P. P., Chou Y. L., Wang Y. S., Wang R. T., Lin H. T. 2018 Effects of glenohumeral internal rotation deficit on baseball pitching among pitchers of different ages. *J Shoulder Elbow Surg* 27: 599-605.
- Chu Y., Akins J., Lovalekar M., Tashman S., Lephart S., Sell T. 2012 Validation of a video-based motion analysis technique in 3-D dynamic scapular kinematic measurements. *J Biomech* 45: 2462-2466.
- Clarsen B., Bahr R., Andersson S. H., Munk R., Myklebust G. 2014 Reduced glenohumeral rotation, external rotation weakness and scapular dyskinesis are risk factors for shoulder injuries among elite male handball players: a prospective cohort study. *Br J Sports Med* 48: 1327-1333.
- Digiovine N. M., Jobe F. W., Pink M., Perry J. 1992 An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *J Shoulder Elbow Surg* 1: 15-25.
- Edwards S. L., Lee J. A., Bell J. E., Packer J. D., Ahmad C. S., Levine W. N., Bigliani L. U., Blaine T. A. 2010 Nonoperative treatment of superior labrum anterior posterior tears: improvements in pain, function, and quality of life. *Am J Sports Med* 38: 1456-1461.
- Ellenbecker T. S., Cools A. 2010 Rehabilitation of shoulder impingement syndrome and rotator cuff injuries: an evidence-based review. *Br J Sports Med* 44: 319-327.
- Escamilla R., Fleisig G., Barrentine S., Andrews J., Moorman C., 3rd 2002 Kinematic and kinetic comparisons between American and Korean professional baseball pitchers. *Sports Biomech* 1: 213-228.
- Fares M. Y., Salhab H. A., Khachfe H. H., Kane L., Fares Y., Fares J., Abboud J. A. 2020 Upper limb injuries in Major League Baseball. *Phys Ther Sport* 41: 49-54.
- Feltner M. 1986 Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball

- pitch. *International Journal of Sports Biomechanics* 2: 235-259.
- Flatow E. L., Soslowsky L. J., Ticker J. B., Pawluk R. J., Hepler M., Ark J., Mow V. C., Bigliani L. U. 1994 Excursion of the rotator cuff under the acromion. Patterns of subacromial contact. *Am J Sports Med* 22: 779-788.
- Fleisig G. S., Andrews J. R., Dillman C. J., Escamilla R. F. 1995 Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med* 23: 233-239.
- Fleisig G. S., Barrentine S. W., Zheng N., Escamilla R. F., Andrews J. R. 1999 Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech* 32: 1371-1375.
- Fleisig G. S., Kingsley D. S., Loftice J. W., Dinnen K. P., Ranganathan R., Dun S., Escamilla R. F., Andrews J. R. 2006 Kinetic comparison among the fastball, curveball, change-up, and slider in collegiate baseball pitchers. *Am J Sports Med* 34: 423-430.
- Fleisig G. S., Laughlin W. A., Aune K. T., Cain E. L., Dugas J. R., Andrews J. R. 2016 Differences among fastball, curveball, and change-up pitching biomechanics across various levels of baseball. *Sports Biomech* 15: 128-138.
- Gillet B., Rogowski I., Monga-Dubreuil E., Begon M. 2019 Lower Trapezius Weakness and Shoulder Complex Biomechanics during the Tennis Serve. *Med Sci Sports Exerc* 51: 2531-2539.
- Gracitelli M. E., Assunção J. H., Malavolta E. A., Sakane D. T., de Rezende M. R., Ferreira Neto A. A. 2014 Trapezius muscle transfer for external shoulder rotation: anatomical study. *Acta Ortop Bras* 22: 304-307.
- Gumina S., Di Giorgio G., Postacchini F., Postacchini R. 2008 Subacromial space in adult patients with thoracic hyperkyphosis and in healthy volunteers. *Chir Organi Mov* 91: 93-96.
- Harding J. L., Picha K. J., Bliven K. C. H. 2018 Pitch Volume and Glenohumeral and Hip Motion and Strength in Youth Baseball Pitchers. *J Athl Train* 53: 60-65.
- Harrison N., Garrett W. Z., Timmons M. K. 2021 Serratus Anterior Fatigue Reduces Scapular Posterior Tilt and External Rotation During Arm Elevation. *J Sport Rehabil*: 1-7.
- Hasegawa A., Mihata T., Itami Y., Takeda A., Neo M. 2021 Relationship between humeral retroversion and baseball positions during elementary and junior-high school. *J Shoulder Elbow Surg* 30: 290-297.
- Helmkamp J. K., Bullock G. S., Rao A., Shanley E., Thigpen C., Garrigues G. E. 2020 The Relationship Between Humeral Torsion and Arm Injury in Baseball Players: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health* 12: 132-138.
- Hibberd E. E., Oyama S., Tatman J., Myers J. B. 2014 Dominant-limb range-of-motion and humeral-retrotorsion adaptation in collegiate baseball and softball position players. *J Athl Train* 49: 507-513.

- Hickey D., Solvig V., Cavalheri V., Harrold M., McKenna L. 2018 Scapular dyskinesis increases the risk of future shoulder pain by 43% in asymptomatic athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 52: 102-110.
- Hodgins J. L., Rubenstein W., Kovacevic D., Padaki A., Jobin C. M., Ahmad C. S. 2017 Pectoralis Minor Contracture in Throwing Shoulders of Asymptomatic Adolescent Baseball Players. *Orthop J Sports Med* 5: 2325967117728041.
- Huang T. S., Chen W. J., Du W. Y., Lin J. J. 2020 Measurement of scapular prominence in symptomatic dyskinesis using a novel scapulometer: reliability and the relationship to shoulder dysfunction. *J Shoulder Elbow Surg* 29: 1852-1858.
- Huang T. S., Huang H. Y., Wang T. G., Tsai Y. S., Lin J. J. 2015 Comprehensive classification test of scapular dyskinesis: A reliability study. *Man Ther* 20: 427-432.
- Huang T. S., Ou H. L., Huang C. Y., Lin J. J. 2015 Specific kinematics and associated muscle activation in individuals with scapular dyskinesis. *J Shoulder Elbow Surg* 24: 1227-1234.
- Jildeh T. R., Ference D. A., Abbas M. J., Jiang E. X., Okoroha K. R. 2021 Scapulothoracic Dyskinesis: A Concept Review. *Curr Rev Musculoskelet Med* 14: 246-254.
- Jobe F. W., Bradley J. P. 1988 Rotator cuff injuries in baseball. Prevention and rehabilitation. *Sports Med* 6: 378-387.
- JR Matsuo T Escamilla RF Fleisig GS Barrentine SW Andrews 2001 Comparison of Kinematic and Temporal Parameters Between Different Pitch Velocity Groups. *J Appl Biomech* 17: 1-13.
- Kageyama M., Sugiyama T., Kanehisa H., Maeda A. 2015 Difference between adolescent and collegiate baseball pitchers in the kinematics and kinetics of the lower limbs and trunk during pitching motion. *J Sports Sci Med* 14: 246-255.
- Karduna A. R., McClure P. W., Michener L. A., Sennett B. 2001 Dynamic measurements of three-dimensional scapular kinematics: a validation study. *J Biomech Eng* 123: 184-190.
- Kawasaki T., Yamakawa J., Kaketa T., Kobayashi H., Kaneko K. 2012 Does scapular dyskinesis affect top rugby players during a game season? *J Shoulder Elbow Surg* 21: 709-714.
- Keller R. A., Marshall N. E., Mehran N., Moutzouros V. 2015 Pitching Speed and Glenohumeral Adaptation in High School Pitchers. *Orthopedics* 38: e668-672.
- Khalil L. S., Jildeh T. R., Taylor K. A., Gullledge C. M., Smith D. G., Sandberg M. L., Makhni E. C., Okoroha K. R., Moutzouros V. 2021 The relationship between shoulder range of motion and elbow stress in college pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 30: 504-511.
- Kibler W. B. 1995 Biomechanical analysis of the shoulder during tennis activities. *Clin Sports Med* 14: 79-85.
- Kibler W. B. 1998 The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med* 26: 325-337.

- Kibler W. B. 2012 The scapula in rotator cuff disease. *Med Sport Sci* 57: 27-40.
- Kibler W. B., Kuhn J. E., Wilk K., Sciascia A., Moore S., Laudner K., Ellenbecker T., Thigpen C., Uhl T. 2013 The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology-10-year update. *Arthroscopy* 29: 141-161.e126.
- Kibler W. B., Ludewig P. M., McClure P. W., Michener L. A., Bak K., Sciascia A. D. 2013 Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit'. *Br J Sports Med* 47: 877-885.
- Kibler W. B., Sciascia A. 2016 The role of the scapula in preventing and treating shoulder instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24: 390-397.
- Kibler W. B., Sciascia A., Wilkes T. 2012 Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *J Am Acad Orthop Surg* 20: 364-372.
- Kibler W. B., Uhl T. L., Maddux J. W., Brooks P. V., Zeller B., McMullen J. 2002 Qualitative clinical evaluation of scapular dysfunction: a reliability study. *J Shoulder Elbow Surg* 11: 550-556.
- Kibler W. B., Wilkes T., Sciascia A. 2013 Mechanics and pathomechanics in the overhead athlete. *Clin Sports Med* 32: 637-651.
- Konda S., Yanai T., Sakurai S. 2015 Configuration of the Shoulder Complex During the Arm-Cocking Phase in Baseball Pitching. *Am J Sports Med* 43: 2445-2451.
- Kuhn J. E., Dunn W. R., Sanders R., An Q., Baumgarten K. M., Bishop J. Y., Brophy R. H., Carey J. L., Holloway B. G., Jones G. L., Ma C. B., Marx R. G., McCarty E. C., Poddar S. K., Smith M. V., Spencer E. E., Vidal A. F., Wolf B. R., Wright R. W. 2013 Effectiveness of physical therapy in treating atraumatic full-thickness rotator cuff tears: a multicenter prospective cohort study. *J Shoulder Elbow Surg* 22: 1371-1379.
- Kuhn J. E., Lindholm S. R., Huston L. J., Soslowsky L. J., Blasier R. B. 2003 Failure of the biceps superior labral complex: a cadaveric biomechanical investigation comparing the late cocking and early deceleration positions of throwing. *Arthroscopy* 19: 373-379.
- Kukkonen J., Joukainen A., Lehtinen J., Mattila K. T., Tuominen E. K., Kauko T., Aärimala V. 2014 Treatment of non-traumatic rotator cuff tears: A randomised controlled trial with one-year clinical results. *Bone Joint J* 96-b: 75-81.
- Landis J. R., Koch G. G. 1977 The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174.
- Laudner K. G., Lynall R., Meister K. 2013 Shoulder adaptations among pitchers and position players over the course of a competitive baseball season. *Clin J Sport Med* 23: 184-189.
- Laudner K. G., Myers J. B., Pasquale M. R., Bradley J. P., Lephart S. M. 2006 Scapular dysfunction in throwers with pathologic internal impingement. *J Orthop Sports Phys Ther* 36: 485-494.

- Laudner K., Wong R., Evans D., Meister K. 2021 The effects of restricted glenohumeral horizontal adduction motion on shoulder and elbow forces in collegiate baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 30: 396-400.
- Linaker C. H., Walker-Bone K. 2015 Shoulder disorders and occupation. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 29: 405-423.
- Longo U. G., Risi Ambrogioni L., Berton A., Candela V., Massaroni C., Carnevale A., Stelitano G., Schena E., Nazarian A., DeAngelis J., Denaro V. 2020 Scapular Dyskinesia: From Basic Science to Ultimate Treatment. *Int J Environ Res Public Health* 17.
- Ludewig P. M., Cook T. M. 2000 Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Phys Ther* 80: 276-291.
- Ludewig P. M., Kamonseki D. H., Staker J. L., Lawrence R. L., Camargo P. R., Braman J. P. 2017 CHANGING OUR DIAGNOSTIC PARADIGM: MOVEMENT SYSTEM DIAGNOSTIC CLASSIFICATION. *Int J Sports Phys Ther* 12: 884-893.
- Lukasiewicz A. C., McClure P., Michener L., Pratt N., Sennett B. 1999 Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. *J Orthop Sports Phys Ther* 29: 574-583; discussion 584-576.
- Madsen P. H., Bak K., Jensen S., Welter U. 2011 Training induces scapular dyskinesia in pain-free competitive swimmers: a reliability and observational study. *Clin J Sport Med* 21: 109-113.
- Martin R. M., Fish D. E. 2008 Scapular winging: anatomical review, diagnosis, and treatments. *Curr Rev Musculoskelet Med* 1: 1-11.
- Matsumura A., Ueda A., Nakamura Y. 2019 A new method of estimating scapular orientation during various shoulder movements: A comparison of three non-invasive methods. *J Electromyogr Kinesiol* 44: 46-55.
- McClure P., Tate A. R., Kareha S., Irwin D., Zlupko E. 2009 A clinical method for identifying scapular dyskinesia, part 1: reliability. *J Athl Train* 44: 160-164.
- McClure P. W., Michener L. A., Sennett B. J., Karduna A. R. 2001 Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg* 10: 269-277.
- Meyer K. E., Saether E. E., Soiney E. K., Shebeck M. S., Paddock K. L., Ludewig P. M. 2008 Three-dimensional scapular kinematics during the throwing motion. *J Appl Biomech* 24: 24-34.
- Mihata T., Gates J., McGarry M. H., Neo M., Lee T. Q. 2015 Effect of posterior shoulder tightness on internal impingement in a cadaveric model of throwing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23: 548-554.
- Mihata T., Jun B. J., Bui C. N., Hwang J., McGarry M. H., Kinoshita M., Lee T. Q. 2012 Effect

- of scapular orientation on shoulder internal impingement in a cadaveric model of the cocking phase of throwing. *J Bone Joint Surg Am* 94: 1576-1583.
- Mihata T., Lee Y., McGarry M. H., Abe M., Lee T. Q. 2004 Excessive humeral external rotation results in increased shoulder laxity. *Am J Sports Med* 32: 1278-1285.
- Mihata T., McGarry M. H., Kinoshita M., Lee T. Q. 2010 Excessive glenohumeral horizontal abduction as occurs during the late cocking phase of the throwing motion can be critical for internal impingement. *Am J Sports Med* 38: 369-374.
- Mihata T., McGarry M. H., Tibone J. E., Fitzpatrick M. J., Kinoshita M., Lee T. Q. 2008 Biomechanical assessment of Type II superior labral anterior-posterior (SLAP) lesions associated with anterior shoulder capsular laxity as seen in throwers: a cadaveric study. *Am J Sports Med* 36: 1604-1610.
- Miyasaka J., Arai R., Yoshioka Y., Matsumura A., Hasegawa S., Kuriyama S., Nakamura S., Ichihashi N., Matsuda S. 2021 Electromyographic analysis of a selective exercise for the serratus anterior muscle among patients with frozen shoulder and subacromial impingement syndrome. *Am J Phys Med Rehabil*.
- Miyashita K., Kobayashi H., Koshida S., Urabe Y. 2010 Glenohumeral, scapular, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation in throwing. *Am J Sports Med* 38: 363-368.
- Morais N., Cruz J. 2016 The pectoralis minor muscle and shoulder movement-related impairments and pain: Rationale, assessment and management. *Phys Ther Sport* 17: 1-13.
- Mueller A. M., Entezari V., Rosso C., McKenzie B., Hasebrock A., Cereatti A., Della Croce U., Deangelis J. P., Nazarian A., Ramappa A. J. 2013 The effect of simulated scapular winging on glenohumeral joint translations. *J Shoulder Elbow Surg* 22: 986-992.
- Myers J. B., Laudner K. G., Pasquale M. R., Bradley J. P., Lephart S. M. 2006 Glenohumeral range of motion deficits and posterior shoulder tightness in throwers with pathologic internal impingement. *Am J Sports Med* 34: 385-391.
- Nakamizo H., Nakamura Y., Nobuhara K., Yamamoto T. 2008 Loss of glenohumeral internal rotation in little league pitchers: a biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg* 17: 795-801.
- Nicholson K. F., Hulburt T. C., Beck E. C., Waterman B. R., Bullock G. S. 2020 The relationship between pitch velocity and shoulder distraction force and elbow valgus torque in collegiate and high school pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 29: 2661-2667.
- Nissen C. W., Westwell M., Ounpuu S., Patel M., Tate J. P., Pierz K., Burns J. P., Bicos J. 2007 Adolescent baseball pitching technique: a detailed three-dimensional biomechanical analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1347-1357.
- Oi T., Yoshiya S., Slowik J., Diffendaffer A., Takagi Y., Tanaka H., Nobuhara K., Fleisig G. S.

- 2019 Biomechanical Differences Between Japanese and American Professional Baseball Pitchers. *Orthop J Sports Med* 7: 2325967119825625.
- Okoroha K. R., Lizzio V. A., Meta F., Ahmad C. S., Moutzouros V., Makhni E. C. 2018 Predictors of Elbow Torque Among Youth and Adolescent Baseball Pitchers. *Am J Sports Med* 46: 2148-2153.
- Oliver G. D., Weimar W. 2015 Hip range of motion and scapula position in youth baseball pitching pre and post simulated game. *J Sports Sci* 33: 1447-1453.
- Oliver G., Weimar W. 2015 Scapula Kinematics of Youth Baseball Players. *J Hum Kinet* 49: 47-54.
- Otoshi K., Takegami M., Sekiguchi M., Onishi Y., Yamazaki S., Otani K., Shishido H., Kikuchi S., Konno S. 2014 Association between kyphosis and subacromial impingement syndrome: LOHAS study. *J Shoulder Elbow Surg* 23: e300-e307.
- Oyama S., Myers J. B., Wassinger C. A., Daniel Ricci R., Lephart S. M. 2008 Asymmetric resting scapular posture in healthy overhead athletes. *J Athl Train* 43: 565-570.
- Oyama S., Myers J. B., Wassinger C. A., Lephart S. M. 2010 Three-dimensional scapular and clavicular kinematics and scapular muscle activity during retraction exercises. *J Orthop Sports Phys Ther* 40: 169-179.
- Oyama S., Yu B., Blackburn J. T., Padua D. A., Li L., Myers J. B. 2013 Effect of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers. *Am J Sports Med* 41: 2430-2438.
- Paletta G. A., Jr., Warner J. J., Warren R. F., Deutsch A., Altchek D. W. 1997 Shoulder kinematics with two-plane x-ray evaluation in patients with anterior instability or rotator cuff tearing. *J Shoulder Elbow Surg* 6: 516-527.
- Pappas A. M., Zawacki R. M., Sullivan T. J. 1985 Biomechanics of baseball pitching. A preliminary report. *Am J Sports Med* 13: 216-222.
- Park J. Y., Hwang J. T., Kim K. M., Makkar D., Moon S. G., Han K. J. 2013 How to assess scapular dyskinesis precisely: 3-dimensional wing computer tomography--a new diagnostic modality. *J Shoulder Elbow Surg* 22: 1084-1091.
- Park J. Y., Hwang J. T., Oh K. S., Kim S. J., Kim N. R., Cha M. J. 2014 Revisit to scapular dyskinesis: three-dimensional wing computed tomography in prone position. *J Shoulder Elbow Surg* 23: 821-828.
- Park J. Y., Kim J., Seo B. H., Yu H. D., Sim J. H., Lee J. H., Oh K. S., Chung S. W. 2020 Three-Dimensional Analysis of Scapular Kinematics During Arm Elevation in Baseball Players With Scapular Dyskinesis: Comparison of Dominant and Nondominant Arms. *J Sport Rehabil* 29: 93-101.
- Pirauá A. L., Pitanguí A. C., Silva J. P., Pereira dos Passos M. H., Alves de Oliveira V. M., Batista

- Lda S., Cappato de Araújo R. 2014 Electromyographic analysis of the serratus anterior and trapezius muscles during push-ups on stable and unstable bases in subjects with scapular dyskinesis. *J Electromyogr Kinesiol* 24: 675-681.
- Pluim B. M. 2013 Scapular dyskinesis: practical applications. *Br J Sports Med* 47: 875-876.
- Pradhan R. L., Itoi E., Hatakeyama Y., Urayama M., Sato K. 2001 Superior labral strain during the throwing motion. A cadaveric study. *Am J Sports Med* 29: 488-492.
- Preziosi Standoli J., Fratalocchi F., Candela V., Preziosi Standoli T., Giannicola G., Bonifazi M., Gumina S. 2018 Scapular Dyskinesis in Young, Asymptomatic Elite Swimmers. *Orthop J Sports Med* 6: 2325967117750814.
- Provencher M. T., Kirby H., McDonald L. S., Golijanin P., Gross D., Campbell K. J., LeClere L., Sanchez G., Anthony S., Romeo A. A. 2017 Surgical Release of the Pectoralis Minor Tendon for Scapular Dyskinesia and Shoulder Pain. *Am J Sports Med* 45: 173-178.
- Rabin A., Druckmann I., Chechik O. 2020 Shoulder pain and scapular dyskinesis associated with lower trapezius dysplasia - A case report. *Phys Ther Sport* 46: 104-112.
- Ramkumar P. N., Navarro S. M., Luu B. C., Haeberle H. S., Karnuta J. M., Stearns K. L., Soloff L., Frangiamore S. J., Schickendantz M. S. 2019 Epidemiology and Impact of Prior Musculoskeletal Injury and Orthopaedic Surgery on Draft Rank, Availability, and Short-term Performance in Major League Baseball: A Summary Analysis and Matched Cohort of 1890 Predraft Players. *Orthop J Sports Med* 7: 2325967119844268.
- Richardson R. T. 2021 An individualized linear model approach for estimating scapular kinematics during baseball pitching. *J Biomech* 114: 110160.
- Roach N. T., Venkadesan M., Rainbow M. J., Lieberman D. E. 2013 Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo. *Nature* 498: 483-486.
- Roche S. J., Funk L., Sciascia A., Kibler W. B. 2015 Scapular dyskinesis: the surgeon's perspective. *Shoulder Elbow* 7: 289-297.
- Sabick M. B., Torry M. R., Kim Y. K., Hawkins R. J. 2004 Humeral torque in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 32: 892-898.
- Sabick M. B., Torry M. R., Lawton R. L., Hawkins R. J. 2004 Valgus torque in youth baseball pitchers: A biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg* 13: 349-355.
- Scibek J. S., Carcia C. R. 2012 Assessment of scapulohumeral rhythm for scapular plane shoulder elevation using a modified digital inclinometer. *World J Orthop* 3: 87-94.
- Seitz A. L., McClure P. W., Lynch S. S., Ketchum J. M., Michener L. A. 2012 Effects of scapular dyskinesis and scapular assistance test on subacromial space during static arm elevation. *J Shoulder Elbow Surg* 21: 631-640.
- Shitara H., Kobayashi T., Yamamoto A., Shimoyama D., Ichinose T., Tajika T., Osawa T., Iizuka H., Takagishi K. 2017 Prospective multifactorial analysis of preseason risk factors for

- shoulder and elbow injuries in high school baseball pitchers. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25: 3303-3310.
- Slowik J. S., Aune K. T., Diffendaffer A. Z., Cain E. L., Dugas J. R., Fleisig G. S. 2019 Fastball Velocity and Elbow-Varus Torque in Professional Baseball Pitchers. *J Athl Train* 54: 296-301.
- Smith D. G., Swantek A. J., Gullette C. M., Lizzio V. A., Bermudez A., Schulz B. M., Makhni E. C. 2019 Relationship Between Glenohumeral Internal Rotation Deficit and Medial Elbow Torque in High School Baseball Pitchers. *Am J Sports Med* 47: 2821-2826.
- Suzuki Y., Muraki T., Sekiguchi Y., Ishikawa H., Yaguchi H., Suzuki Y., Morise S., Honda K., Izumi S. I. 2019 Influence of thoracic posture on scapulothoracic and glenohumeral motions during eccentric shoulder external rotation. *Gait Posture* 67: 207-212.
- Takagi Y., Oi T., Tanaka H., Inui H., Fujioka H., Tanaka J., Yoshiya S., Nobuhara K. 2014 Increased horizontal shoulder abduction is associated with an increase in shoulder joint load in baseball pitching. *J Shoulder Elbow Surg* 23: 1757-1762.
- Tate A., Turner G. N., Knab S. E., Jorgensen C., Strittmatter A., Michener L. A. 2012 Risk factors associated with shoulder pain and disability across the lifespan of competitive swimmers. *J Athl Train* 47: 149-158.
- Terry G. C., Chopp T. M. 2000 Functional anatomy of the shoulder. *J Athl Train* 35: 248-255.
- Thayaparan A., Yu J., Horner N. S., Leroux T., Alolabi B., Khan M. 2019 Return to Sport After Arthroscopic Superior Labral Anterior-Posterior Repair: A Systematic Review. *Sports Health* 11: 520-527.
- Thigpen C. A., Padua D. A., Morgan N., Kreps C., Karas S. G. 2006 Scapular kinematics during supraspinatus rehabilitation exercise: a comparison of full-can versus empty-can techniques. *Am J Sports Med* 34: 644-652.
- Thomas S. J., Sheridan S., Reuther K. E. 2020 Humeral Retroversion and Participation Age in Professional Baseball Pitchers by Geographic Region. *J Athl Train* 55: 27-31.
- Thomas S. J., Swanik K. A., Swanik C., Huxel K. C., Kelly J. D. 2010 Change in glenohumeral rotation and scapular position after competitive high school baseball. *J Sport Rehabil* 19: 125-135.
- Totlis T., Kitridis D., Tsikopoulos K., Georgoulis A. 2021 A computer tablet software can quantify the deviation of scapula medial border from the thoracic wall during clinical assessment of scapula dyskinesis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29: 202-209.
- Tyler T. F., Nicholas S. J., Lee S. J., Mullaney M., McHugh M. P. 2010 Correction of posterior shoulder tightness is associated with symptom resolution in patients with internal impingement. *Am J Sports Med* 38: 114-119.
- Umehara J., Nakamura M., Nishishita S., Tanaka H., Kusano K., Ichihashi N. 2018 Scapular

- kinematic alterations during arm elevation with decrease in pectoralis minor stiffness after stretching in healthy individuals. *J Shoulder Elbow Surg* 27: 1214-1220.
- Wang Y. T., Ford H. T., 3rd, Ford H. T., Jr., Shin D. M. 1995 Three-dimensional kinematic analysis of baseball pitching in acceleration phase. *Percept Mot Skills* 80: 43-48.
- Warner J. J., Micheli L. J., Arslanian L. E., Kennedy J., Kennedy R. 1992 Scapulothoracic motion in normal shoulders and shoulders with glenohumeral instability and impingement syndrome. A study using Moiré topographic analysis. *Clin Orthop Relat Res*: 191-199.
- Wasserberger K. W., Barfield J. W., Downs J. L., Oliver G. D. 2020 Glenohumeral external rotation weakness partially accounts for increased humeral rotation torque in youth baseball pitchers. *J Sci Med Sport* 23: 361-365.
- Wasserman E. B., Sauers E. L., Register-Mihalik J. K., Pierpoint L. A., Currie D. W., Knowles S. B., Dompier T. P., Comstock R. D., Marshall S. W., Kerr Z. Y. 2019 The First Decade of Web-Based Sports Injury Surveillance: Descriptive Epidemiology of Injuries in US High School Boys' Baseball (2005-2006 Through 2013-2014) and National Collegiate Athletic Association Men's Baseball (2004-2005 Through 2013-2014). *J Athl Train* 54: 198-211.
- Weiser W. M., Lee T. Q., McMaster W. C., McMahon P. J. 1999 Effects of simulated scapular protraction on anterior glenohumeral stability. *Am J Sports Med* 27: 801-805.
- Werner S. L., Guido J. A., Jr., Stewart G. W., McNeice R. P., VanDyke T., Jones D. G. 2007 Relationships between throwing mechanics and shoulder distraction in collegiate baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 16: 37-42.
- Wight J. T., Tillman M. D., Grover G. B., Chow J. W., Borsa P. A., Wikstrom E. A., Larkin-Kaiser K. 2020 Pitching shoulder passive flexibility: torque-angle analysis for external rotation and internal rotation. *Sports Biomech*: 1-13.
- Wilk K. E., Arrigo C. A., Andrews J. R. 1997 Current concepts: the stabilizing structures of the glenohumeral joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 25: 364-379.
- Wilk K. E., Macrina L. C., Fleisig G. S., Porterfield R., Simpson C. D., 2nd, Harker P., Paparesta N., Andrews J. R. 2011 Correlation of glenohumeral internal rotation deficit and total rotational motion to shoulder injuries in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 39: 329-335.
- Wilk K. E., Meister K., Andrews J. R. 2002 Current concepts in the rehabilitation of the overhead throwing athlete. *Am J Sports Med* 30: 136-151.
- Wu G., Siegler S., Allard P., Kirtley C., Leardini A., Rosenbaum D., Whittle M., D'Lima D. D., Cristofolini L., Witte H., Schmid O., Stokes I. 2002 ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion--part I: ankle, hip, and spine. International Society of Biomechanics. *J Biomech* 35: 543-548.
- Wu G., van der Helm F. C., Veeger H. E., Makhssous M., Van Roy P., Anglin C., Nagels J., Karduna

- A. R., McQuade K., Wang X., Werner F. W., Buchholz B. 2005 ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech* 38: 981-992.
- Wyland D. J., Pill S. G., Shanley E., Clark J. C., Hawkins R. J., Noonan T. J., Kissenberth M. J., Thigpen C. A. 2012 Bony adaptation of the proximal humerus and glenoid correlate within the throwing shoulder of professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 40: 1858-1862.
- Yamauchi T., Hasegawa S., Matsumura A., Nakamura M., Ibuki S., Ichihashi N. 2015 The effect of trunk rotation during shoulder exercises on the activity of the scapular muscle and scapular kinematics. *J Shoulder Elbow Surg* 24: 955-964.
- 阿江通良 1992 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. *バイオメカニズム* 11: 23-33.
- 伊藤 博一, 眞瀬垣 啓, 河崎 尚史, 小野 大輔, 中嶋 寛之, 渡會 公治 2009 年代別肩・肘有痛部位と真下投げ VAS 評価の詳細 : 野球選手 10,957 名のフィールド調査から. *日本臨床スポーツ医学会誌* 17: 362-372.
- 宮下 浩二, 小山 太郎, 太田 憲一郎, 谷 祐輔, 岡棟 亮二 2018 投球時の肩甲骨内転・外転運動に関する三次元動作解析. *日本臨床スポーツ医学会誌* 26: 397-403.
- 江原 義弘, 別府 政敏, 野村 進, 國見 ゆみ子, 神谷 成仁, 土屋 辰夫, 藤縄 光留, 星 昌博 1998 投球時における肩の負荷の力学的分析. *バイオメカニズム* 14: 39-48.
- 山口 光國, 筒井 廣明 2009 上腕骨位置を基本とした, 肩甲帯の運動許容範囲. *肩関節* 33: 805-808.
- 松村 葵, 2019. さまざまな肩関節運動に対応可能な肩甲骨姿勢の新しい推定方法の開発 : 肩甲骨エクササイズが投球動作中の肩甲骨運動に与える即時効果の検証への応用. 同志社大学.

松尾 知之, 平野 裕一, 川村 卓 2013 発話解析から探る欠陥動作の連関性: 投球解説の

発話共起度によるデータマイニング. 体育学研究 58: 195-210.

中村 康雄, 中村 真里, 中溝 寛之, 駒井 正彦, 橋本 淳, 金谷 整亮, 信原 克哉 2004

ボールリリース時の肩関節の投球姿勢と肩関節負荷との関係. 肩関節 28: 329-

332.

中村 康雄, 中村 真里, 林 豊彦, 中溝 寛之, 信原 克哉 2004 肩甲帯を考慮した投球動

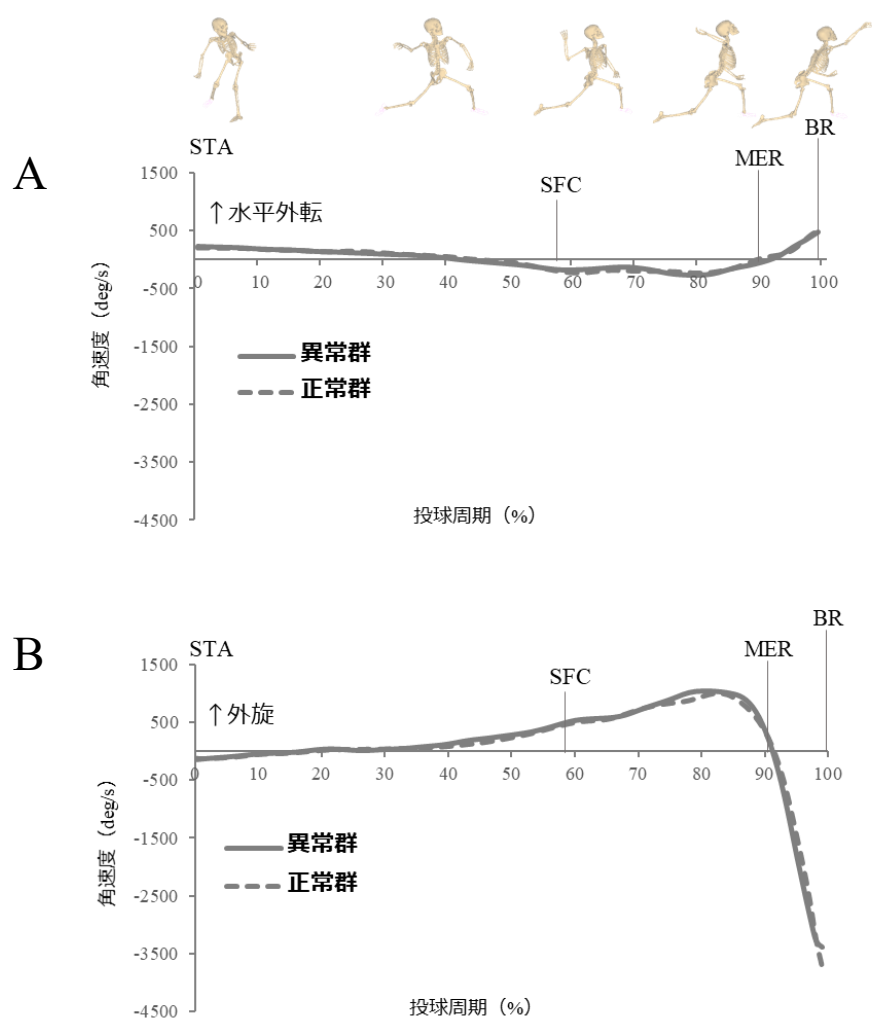
作中の肩関節運動の運動学・動力学的解析. 日本臨床バイオメカニクス学会誌

25: 235-241.

田中 洋, 2016. 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. 新潟大学.

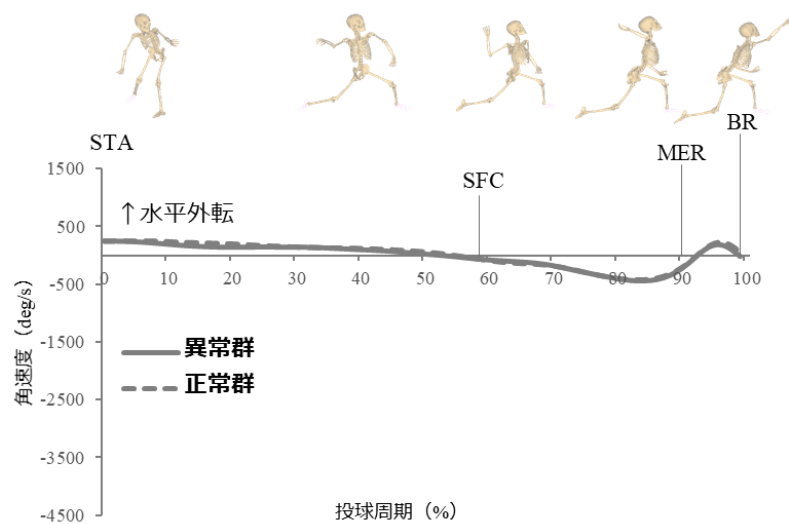
## 補足資料



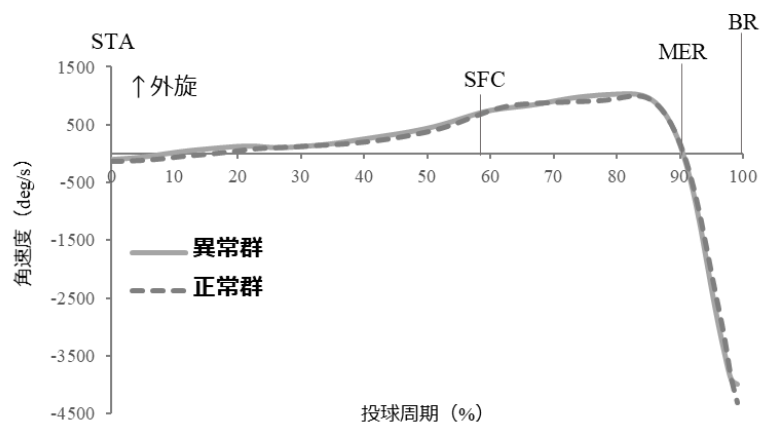
資料 1-A,B 異常群と正常群の投球動作中の肩甲骨関節の角速度

(A：水平外転，B：外旋)

A

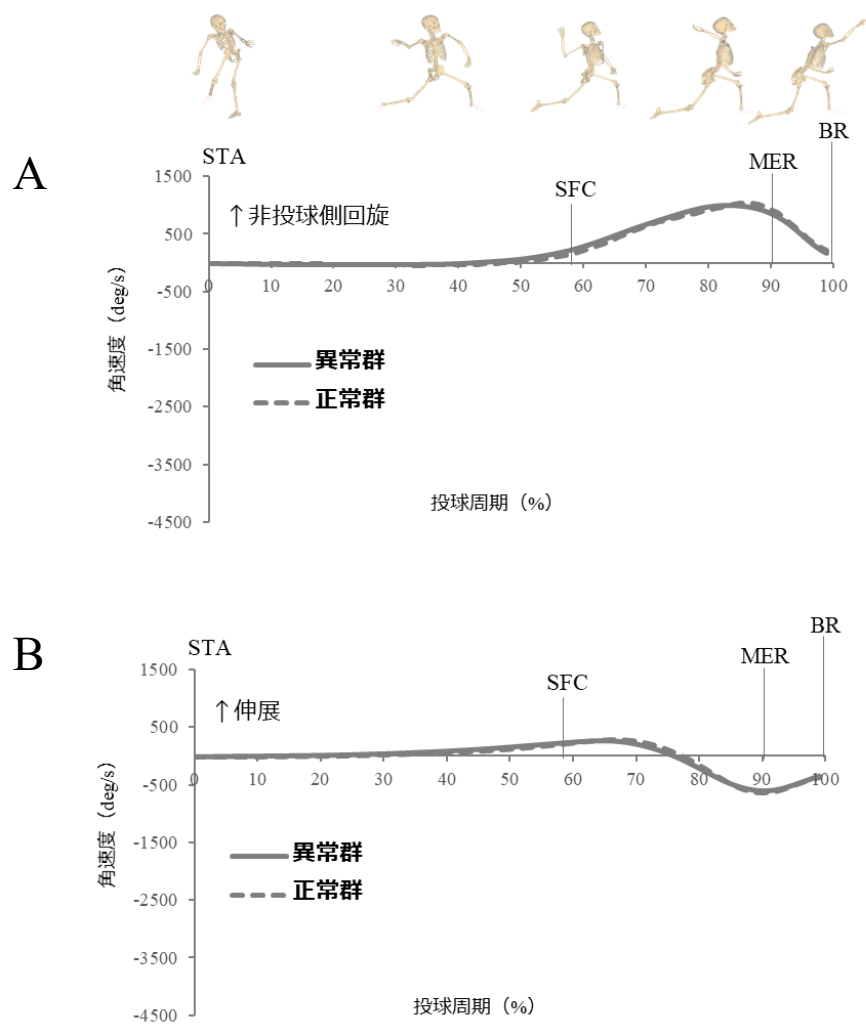


B



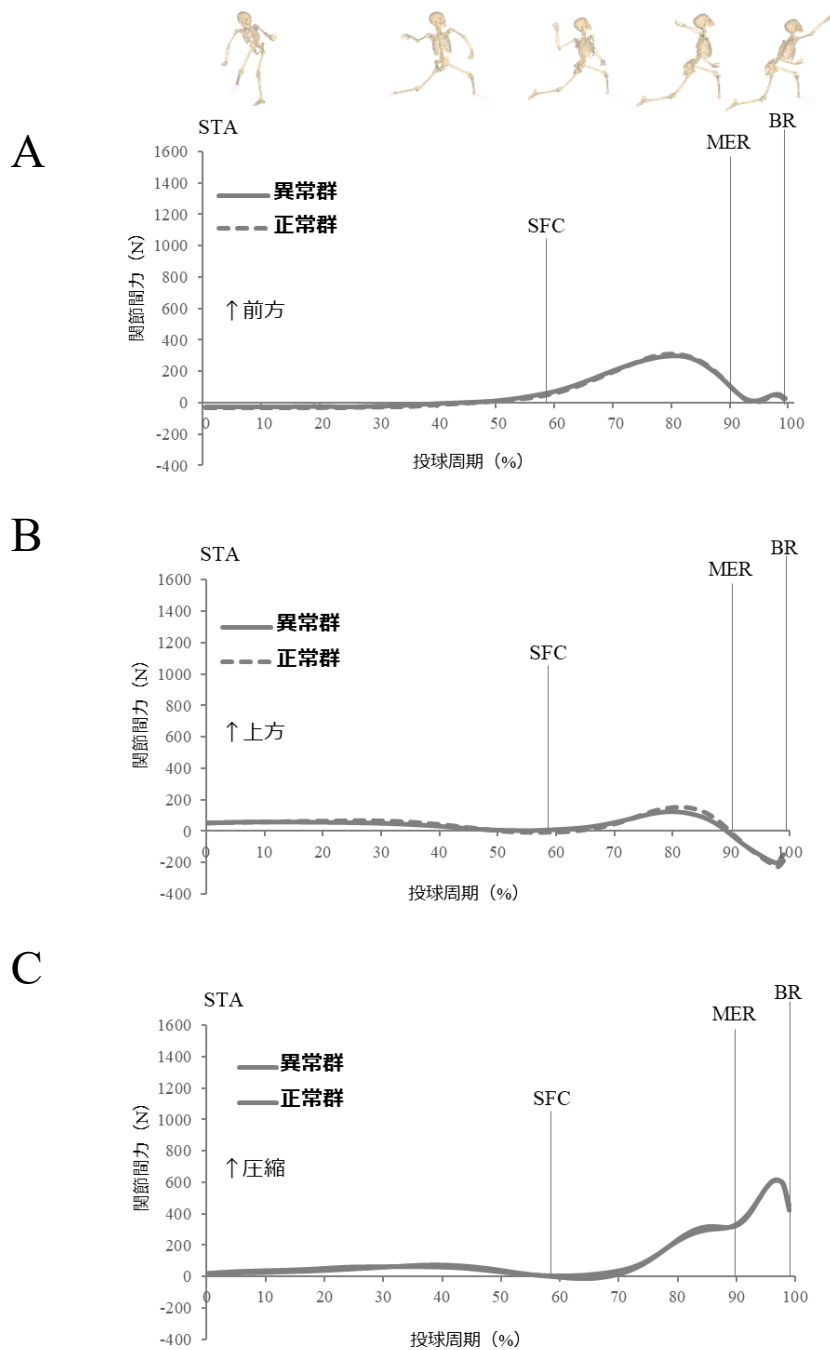
資料 2-A,B 異常群と正常群の投球動作中の胸郭上腕関節の角速度

(A：水平外転, B：外旋)



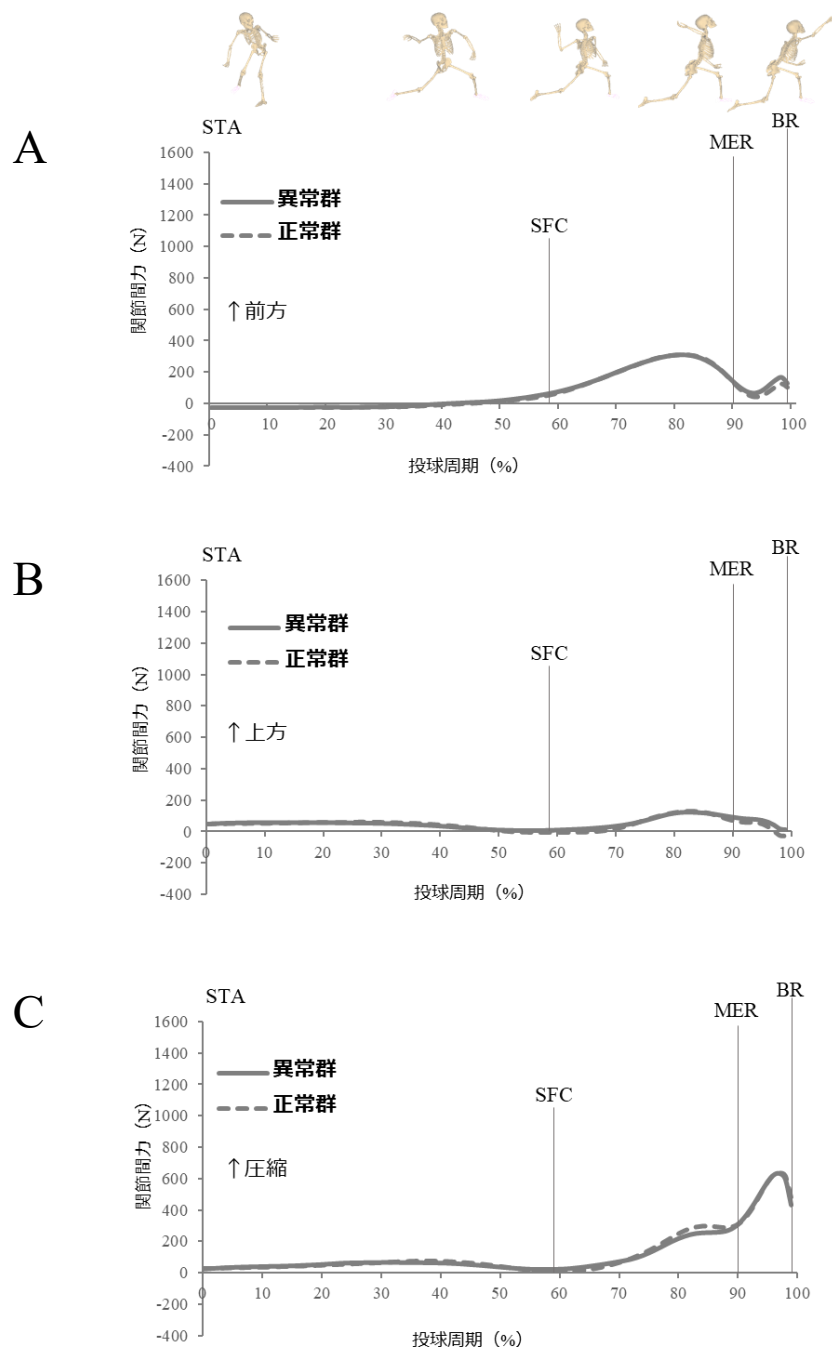
資料 3-A,B 異常群と正常群の投球動作中の体幹の角速度

(A：非投球側回旋，B：伸展)



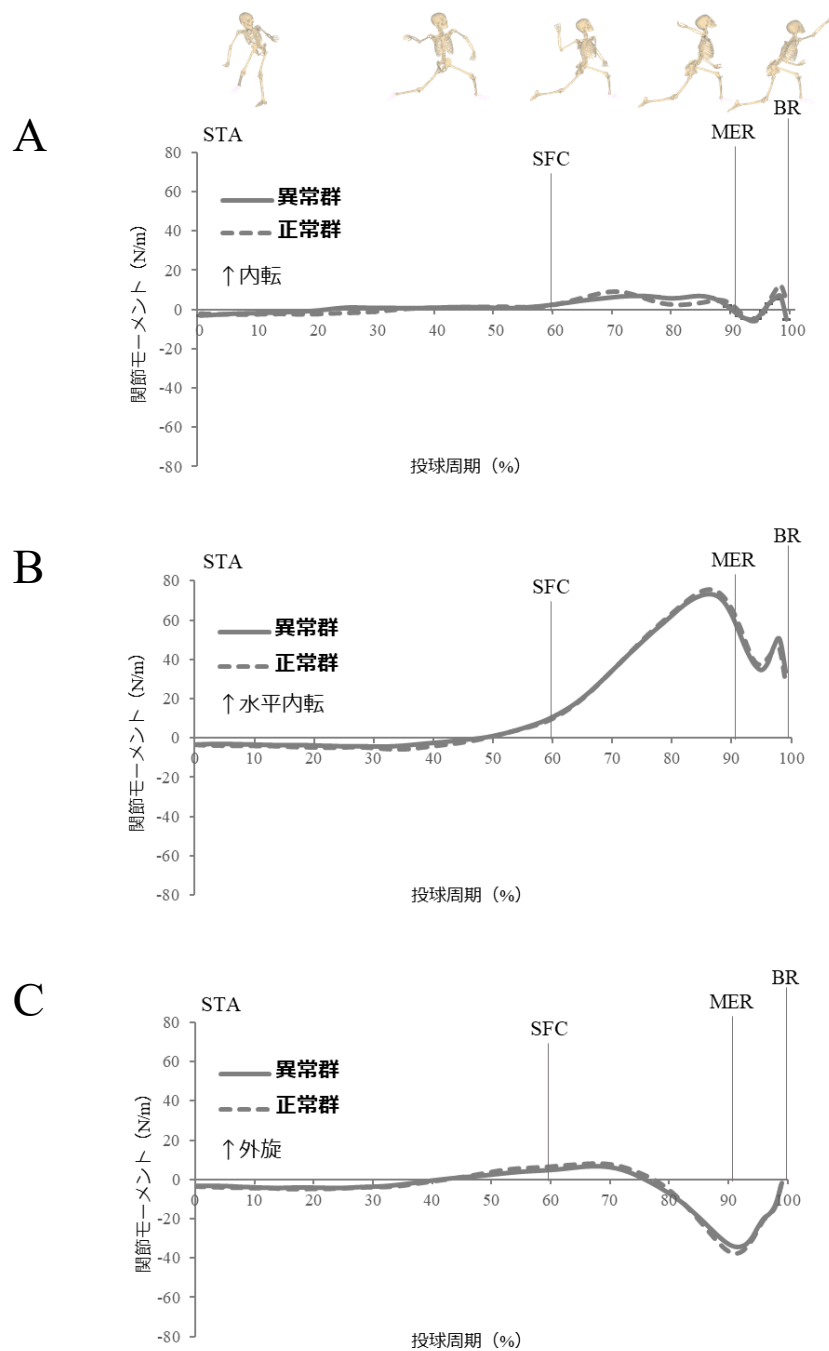
資料 4-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の胸郭上腕関節の関節間力

(A : 前方, B : 上方, C : 圧縮)



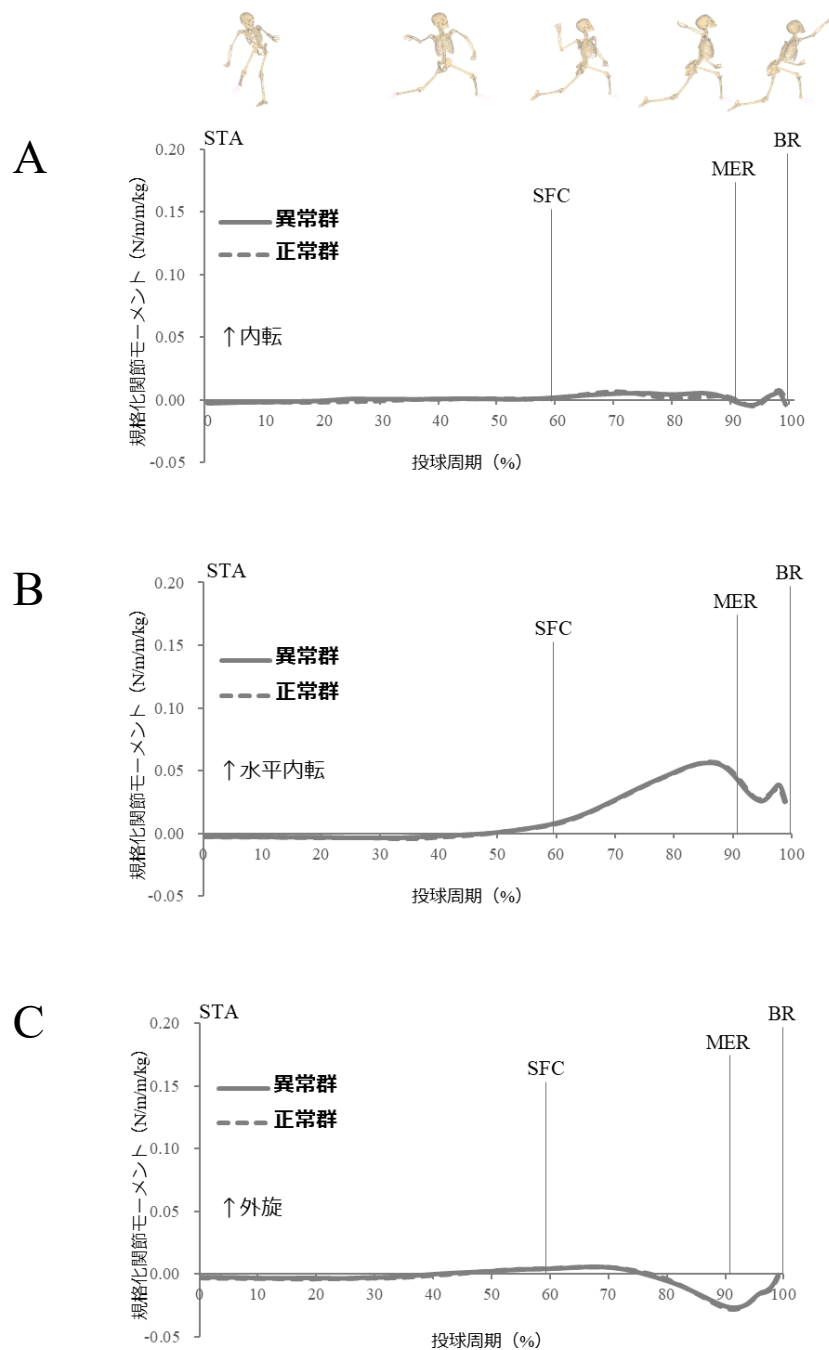
資料 5-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の肩甲骨上腕関節の関節間力

(A : 前方, B : 上方, C : 圧縮)

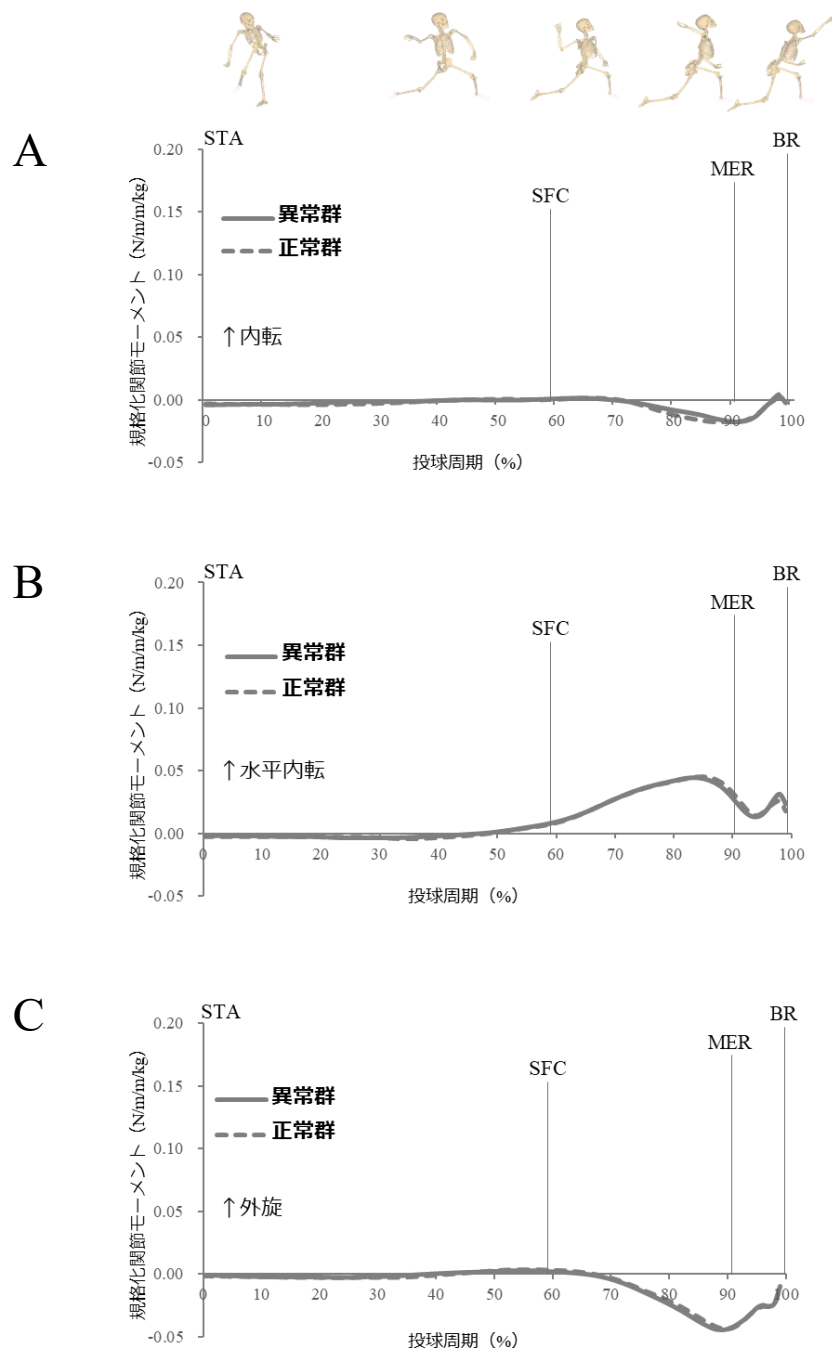


資料 6-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の肩甲骨上腕関節の関節モーメント

(A：内転，B：水平内転，C：外旋)



資料 7-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の肩甲上腕関節の規格化した  
関節モーメント (A：内転, B：水平内転, C：外旋)



資料 8-A,B,C 異常群と正常群の投球動作中の胸郭上腕関節の規格化した  
関節モーメント (A：内転, B：水平内転, C：外旋)