

早稲田大学審査学位論文

博士（スポーツ科学）

菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動解析および

投球動作解析

—野球を中心としたオーバーヘッドスポーツの肩肘関節傷害予防に向けて—

Analysis of scapular muscle activity including

rhomboid major and throwing motion:

Towards prevention of shoulder and elbow injuries in

overhead sports, with special reference to baseball

2021年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

安達 玄

ADACHI, Gen

指導教員： 金岡 恒治 教授

目次

第1章 緒言.....	6
1-1. 研究背景.....	6
1-2. 肩関節複合体・肩甲骨・肩甲骨周囲筋機能解剖.....	8
1-2-1. 肩関節複合体機能解剖、肩甲骨運動の定義、肩甲骨の役割.....	8
1-2-2. 肩甲骨周囲筋機能解剖.....	11
1-3. Scapular dyskinesis と肩肘関節傷害.....	13
1-4. 肩甲骨周囲筋エクササイズ.....	15
1-5. 投球動作.....	17
1-6. 本研究の意義.....	19
1-7. 本研究の目的.....	20
1-8. 研究課題.....	21
第2章 【研究課題1】菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動解析.....	22
[課題1-1] 上肢挙上および下降運動時の筋活動解析—健全者における検討—.....	22
1. 目的.....	22
2. 対象および方法.....	22
2-1. 対象者.....	22
2-2. 筋活動計測.....	22
2-3. 実験試技.....	25
2-4. データ解析.....	25
2-5. 統計解析.....	26
3. 結果.....	27
4. 考察.....	34
5. まとめ.....	37
[課題1-2] スマートフォン使用時の肩甲骨周囲筋と腰部体幹筋活動解析—姿勢変化による差異—.....	38
1. 目的.....	38
2. 対象および方法.....	39
2-1. 対象者.....	39
2-2. 姿勢計測.....	39
2-3. 筋活動計測.....	42
2-4. データ解析.....	42
2-5. 統計解析.....	42
3. 結果.....	43

3-1. 姿勢解析.....	43
3-2. 筋活動解析.....	45
4. 考察.....	47
5. まとめ.....	50
[課題 1-3] 多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズ時の筋活動解析.....	51
1. 目的.....	51
2. 対象および方法.....	51
2-1. 対象者.....	51
2-2. 筋活動計測.....	51
2-3. エクササイズ試技.....	51
2-4. データ解析.....	53
2-5. 統計解析.....	53
3. 結果.....	54
4. 考察.....	56
5. まとめ.....	58
第3章 【研究課題 2】立位姿勢および投球動作解析.....	59
[課題 2-1] 立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性.....	59
1. 目的.....	59
2. 対象および方法.....	59
2-1. 対象者.....	59
2-2. データ計測手順.....	59
2-3. データ分析.....	61
2-4. 統計解析.....	63
3. 結果.....	64
4. 考察.....	67
5. まとめ.....	69
[課題 2-2] 立位姿勢の胸部屈曲角度および投球時の胸部伸展挙動変化 —肩甲骨周囲筋エクササイズを介入して—.....	70
1. 目的.....	70
2. 対象および方法.....	70
2-1. 対象者.....	70
2-2. データ計測手順およびデータ分析.....	71
2-3. 肩甲骨周囲筋エクササイズ介入.....	72
2-4. 統計解析.....	74
3. 結果.....	75
3-1. 立位姿勢.....	75

3-2. 投球動作.....	76
3-3. 筋力.....	77
4. 考察.....	79
5. まとめ.....	81
第4章 総合考察.....	82
第5章 まとめ.....	84
謝辞.....	85
参考文献.....	87

図表一覧

図 1. 肩甲骨の後退と前方突出	9
図 2. 肩甲骨の回旋運動	10
図 3. A:ワイヤ電極 B:ワイヤ電極を通したカテラン針	24
図 4. A:ワイヤ電極入りカテラン針刺入肢位	24
図 5. 上肢挙上および下降運動時の菱形筋活動	27
図 6. 上肢挙上および下降運動時の前鋸筋活動	28
図 7. 上肢挙上および下降運動時の僧帽筋上部線維筋活動	29
図 8. 上肢挙上および下降運動時の僧帽筋中部線維筋活動	30
図 9. 上肢挙上および下降運動時の僧帽筋下部線維筋活動	31
図 10. 菱形筋と僧帽筋中部線維の屈曲試技の各期間における筋活動	32
図 11. 菱形筋と僧帽筋中部線維の外転試技の各期間における筋活動	33
図 12. 菱形筋と前鋸筋の水平面上における肩甲骨内側縁の運動制御への貢 献	36
図 13. 姿勢の定義	40
図 14. 各姿勢角度の定義	40
図 15. SVA distance rate	41
図 16. 良姿勢と不良姿勢間の sagittal vertical axis(SVA)distance rate の差 異	44
図 17. 良姿勢および不良姿勢における各筋の筋活動	45
図 18. 良姿勢および不良姿勢における Rhom、LT、LES、LMF の代表的筋 活動生波形データ	46
図 19. 実験環境設定	60
図 20. 反射マーカー貼付位置	61
図 21. 投球フレーム	62

図 22. 肩関節複合体最大外旋位(MER)	62
図 23. 胸部屈曲角度	63
図 24. 各投球動作フレームにおける胸部伸展変化量	65
図 25. 立位胸部屈曲角度と MER 時の胸部伸展変化量の相関	65
図 26. 立位胸部屈曲角度と Ball release 時の胸部伸展変化量の相関	66
図 27. 各群の対象者属性	70
図 28. 研究プロトコル	71
図 29. 介入した肩甲骨周囲筋エクササイズ	73
図 30. 各群の Pre および Post 時の立位姿勢胸部屈曲角度	75
図 31. 各群の Pre および Post 時の MER 胸部伸展変化量	76
図 32. 各群における Pre および Post の等尺性筋力	78
表 1. 電極入りカテラン針刺入位置及び表面電極貼付位置と MVIC 計測の 詳細	25
表 2. 各姿勢の姿勢角度	43
表 3. エクササイズ試技の詳細	52
表 4. エクササイズ間の筋活動量と筋活動比の比較	55
表 5. 立位姿勢の胸部屈曲角度と各投球動作フレームの胸部伸展変化量の 相関	64

第1章 緒言

1-1. 研究背景

野球、ソフトボール、テニス、バレーボール、水泳などのオーバーヘッドスポーツにおいて肩関節傷害の発症率は23~43%と高い⁽¹⁾。野球においては年代やレベルを問わず、肩関節傷害に加えて肘関節傷害が12.3~29.2%と多い^(2,3,4,5,6,7)。学童期は肩関節傷害発生率が8.0~15.9%である一方、肘関節傷害発生率12.3~29.2%と高い^(5,6)。思春期以降はメジャーリーグにおいて肩関節傷害発生率が21.2%、肘関節傷害発生率が16.4%、高校生は肩関節傷害が1.5/1,000Athlete Exposures、肘関節傷害が1.0/1,000Athlete Exposuresであり、肩関節傷害の発症率が高くなる^(7,8)。このように肩および肘関節傷害発生率が高いことから、傷害発症後の治療のみならず、傷害予防の重要性が示されている^(9,10,11)。

投球による肩関節および肘関節傷害発症に関連する因子として、シーズンもしくは年間投球イニング数^(12,13)、1日の投球数⁽¹⁴⁾、投球強度^(15,16,17)、疲労^(12,18)、投球フォーム^(19,20,21,22,23)、体格などの個体差^(24,25)、身体機能^(8,14,26,27,28)などが報告されている。身体機能の改善においてリハビリテーションやエクササイズの実施が有効であり、競技への早期復帰や傷害予防を実践する上で重要である。近年において、立位姿勢における胸椎後弯角度の増大、肩甲骨機能不全(=Scapular dyskinesis)を有する選手が肩関節もしくは肘関節傷害発症率の増大に関係すると報告された^(10,11,14,28)。

オーバーヘッド動作において重要とされる肩甲骨は胸郭上に浮遊するため、立位姿勢の胸椎アライメントの影響を受ける^(29,30,31,32)。また、肩甲骨と胸郭で構成される肩甲胸郭関節は筋の協調的な牽引により保持される機能的関節であり、肩甲骨の運動制御は肩甲骨に付着する筋に依存している。肩甲骨に付着する肩甲骨周囲筋について、肩甲骨の運動制御に貢献する重要な筋であることから僧帽筋、前鋸筋に関する研究が数多く報告されている^(33,34,35,36,37,38,39)。しかし、脊

椎に起始部を有し、肩甲骨内側縁に付着してオーバーヘッドスポーツ動作の肩甲骨運動制御に貢献する上で重要とされる菱形筋^(29,40,41,42)に関する報告は少ない。その理由として僧帽筋や前鋸筋は表層に位置するため、筋活動測定は比較的容易である一方、菱形筋は僧帽筋の下層に位置し、筋活動測定には侵襲性の高いワイヤ電極を使用する必要があるためであると考えられる。

1-2. 肩関節複合体・肩甲骨・肩甲骨周囲筋機能解剖

1-2-1. 肩関節複合体機能解剖、肩甲骨運動の定義、肩甲骨の役割

肩関節は肩関節複合体(=shoulder complex)と称されるように、上腕骨、肩甲骨、鎖骨、胸骨から成り、肩甲上腕関節、肩甲胸郭関節、肩鎖関節、胸鎖関節が組み合わさることで構成される。肩甲上腕関節は一般的に肩関節と称される部位であり、上腕骨頭と肩甲骨関節窩によって構成される球関節である。この関節形状により大きな可動域を有するが上腕骨頭が肩甲骨関節窩より大きいいため、構造的安定性は小さい。そのため、関節周囲には関節唇、関節包、関節上腕靭帯、回旋筋腱板などが存在し、構造的安定性を補填している⁽⁴³⁾。回旋筋腱板は棘上筋、棘下筋、肩甲下筋、小円筋から成り、上腕骨頭を肩甲骨関節窩に対して求心位に保つ機能を有する^(44,45)。

肩関節複合体の中で唯一、骨同士の連結で構成される構造的関節と異なり、筋により保持されている機能的関節に当たる関節が肩甲胸郭関節である。肩甲胸郭関節は関節包をもたず、僧帽筋、前鋸筋、菱形筋、肩甲挙筋など肩甲骨に附着する筋の協調的な牽引により胸郭上を運動する^(43,46)。

肩甲骨の運動は胸鎖関節と肩鎖関節軸まわりの運動から成り、並進運動と回旋運動を呈す^(47,48)。肩甲骨の並進運動は胸郭上の挙上/下制、内転/外転があり、内転/外転は後退/前方突出(=retraction/protraction)とも称される(図1)。なお、以降の本論文では後退/前方突出を扱うこととする。肩甲骨の回旋運動は上方回旋/下方回旋、前傾/後傾、内旋/外旋がある(図2)。上肢挙上運動において肩甲骨は漸増的に上方回旋、後傾、外旋が増大することから、これらの挙動は正常な肩複合体運動において重要とされる^(49,50)。

オーバーヘッドスポーツにおける肩甲骨の役割は主として、肩甲上腕関節の安定した基盤となること、胸郭上の後退と前方突出、肩峰の挙上、筋の起始部としての基盤となること、身体近位部から上肢遠位部への力伝達、以上の5つで

ある⁽²⁹⁾。具体的には、肩甲骨は投球動作やサーブ動作時に構造的に不安定な肩甲上腕関節の回旋中心を維持するために運動する上腕骨に追随することが要求され、上腕骨を運動させる上腕二頭筋や三角筋、上腕骨頭を求心位に保持する回旋筋腱板の起始部として胸郭上に安定し、かつ体幹や骨盤帯から生成された力を上肢遠位へ伝達する役割を担う。

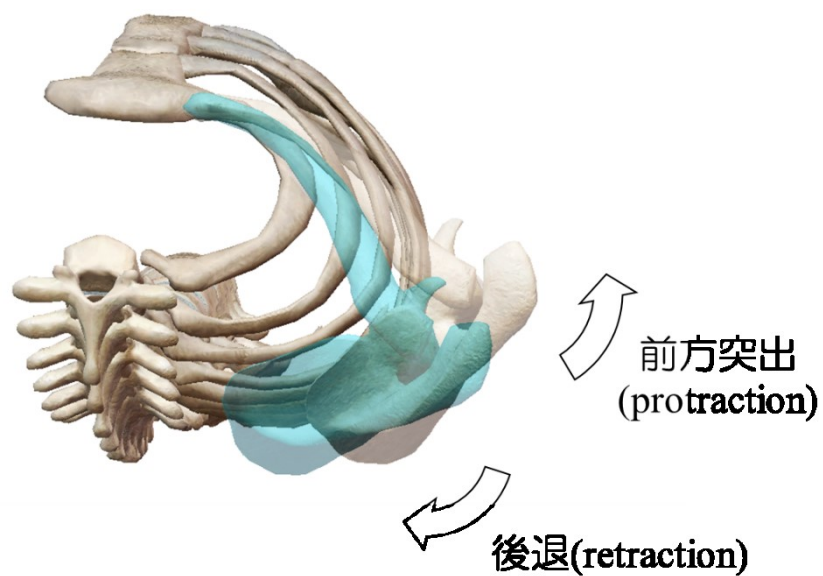


図 1. 肩甲骨の後退と前方突出

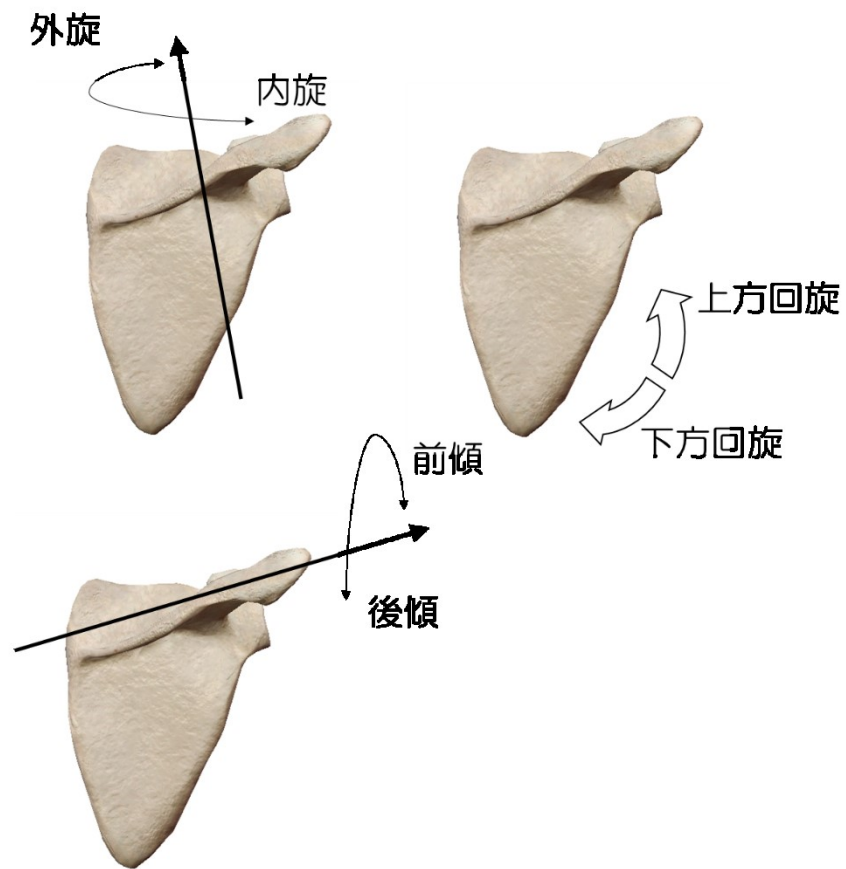


図 2. 肩甲骨の回旋運動

1-2-2. 肩甲骨周囲筋機能解剖

肩甲骨に付着する多くの筋は肩甲骨の運動制御に重要な役割を担っている。Kibler は肩甲骨に付着する筋を 3 つに分類した⁽²⁹⁾。第一群は僧帽筋、前鋸筋、菱形筋、肩甲挙筋とし、肩甲骨の運動制御に関与するとした。第二群は三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋とし、第三群は回旋筋腱板と分類した。一般に肩甲骨周囲筋の呼称は第一群の筋を示すことが多い。菱形筋は大菱形筋と小菱形筋に二分しており、それぞれ異なる付着部を有する。大菱形筋は第 1 から第 4 胸椎棘突起から起こり、肩甲棘より下方の肩甲骨内側縁に停止する^(43,46)。小菱形筋は第 6 および第 7 頸椎棘突起から起こり、肩甲棘より上方の肩甲骨内側縁に停止する^(43,46)。菱形筋は肩甲骨の後退、下方回旋、挙上に貢献するとされ、主たる機能は肩甲骨の後退と肩甲骨内側縁を胸郭に押し当てることとされる^(43,51,52)。大菱形筋と小菱形筋の機能は同様であるとされる一方、機能的に異なると示唆する報告もある⁽⁵³⁾。また、大菱形筋と小菱形筋は二分せず、一つの菱形筋となって存在する場合があるとされる⁽⁴³⁾。僧帽筋は上部線維、中部線維、下部線維に三分される^(43,46)。上部線維は後頭骨および項靭帯から起こり、鎖骨外側 1/3 に停止する。上部線維は肩甲骨に直接の停止部を有さないが鎖骨を介して肩甲骨の挙上および上方回旋に貢献する。中部線維は第 1 から第 4 胸椎棘突起から起こり、鎖骨肩峰端や肩峰、肩甲棘に停止し、肩甲骨を後退する機能を有する。下部線維は第 5 から第 12 胸椎棘突起から起こり、肩甲骨棘三角と隣接する肩甲棘に停止する。下部線維は肩甲骨の後退、後傾、上方回旋に貢献する。前鋸筋は第 1 から 9 肋骨から起こり、肩甲骨内側縁全域に停止し、肩甲骨を前方突出、上方回旋、外旋させる機能を有する。興味深いことに前鋸筋は大菱形筋と肩甲骨内側縁で付着部を隣接もしくは共有している^(37,54)。

肩甲骨の運動制御において僧帽筋、前鋸筋、菱形筋による偶力(=force couple)が重要である^(29,35,55)。偶力は物理学において作用線が平行で力の大きさが等し

く、方向が反対向きの 2 つの力と定義される。Inman らは肩関節複合体機能における偶力について、特定の動作を可能にするために作用する 2 つの相反する力であり、共同筋または主動作筋と拮抗筋の関係が含まれるとした⁽⁴⁷⁾。肩甲骨の運動制御を検討する上で健常人を対象に上肢挙上および下降運動時の肩甲骨周囲筋活動を計測した研究が複数報告されている。Ebaugh らは上肢挙上 90° から 120° において僧帽筋上部線維および下部線維、前鋸筋の活動が高値を示したことから、これらの筋は肩甲骨の上方回旋および運動制御の主要な筋であるとした⁽³⁵⁾。橋内は肩関節外転運動時の大菱形筋、小菱形筋、中部僧帽筋および前鋸筋の筋活動を、ワイヤ電極を用いて解析した⁽⁵³⁾。しかし、対象者数が 6 名と少なく、結果を一般化するには限界を残した。Wickman らは重錘負荷を加えた肩関節外転運動における回旋筋腱板や菱形筋を含めた肩関節周囲筋および肩甲骨周囲筋の筋活動や筋活動開始タイミングに関する報告をしたが、菱形筋に関して詳細な考察や言及をしていない⁽⁵⁶⁾。また、菱形筋と僧帽筋中部線維は機能的に類似している⁽⁴⁷⁾とされるがその点について定量的に示した報告はない。このように、肩甲骨の運動制御において僧帽筋と前鋸筋、菱形筋が重要と考えられているが、菱形筋活動の定量化と詳細な考察をした研究はない。

1-3. Scapular dyskinesis と肩肘関節傷害

オーバーヘッドアスリートの上肢障害において肩甲骨機能不全、すなわち Scapular dyskinesis (以下 SD) は重要な問題であるとされる。SD は肩甲骨の位置と動きの変化として定義されている⁽³⁰⁾。SD の評価方法として Scapular dyskinesis test が用いられており、両側上肢の矢状面、前額面、肩甲平面における挙上および下降運動において肩甲骨下角の突出、肩甲骨内側縁の突出、肩甲骨上角の過挙上のいずれか、もしくは複数を認める場合 SD 陽性と評価される⁽⁵⁷⁾。Burn らは非オーバーヘッドアスリートの SD 保有率が 33%であったのに対し、オーバーヘッドアスリートの SD 保有率が 61%であったことを示した⁽⁵⁸⁾。Hickey らは SD を有するアスリートは、将来的に肩の痛みを発症するリスクが 43%高いと報告している⁽²⁸⁾。Tsuruike らは大学野球選手におけるシーズン前の SD の保有とオーバーヘッドアスリートの上肢機能評価に用いられる Kerlan-Jobe Orthopaedic Clinic (KJOC) score⁽⁵⁹⁾の関連性を前向きコホート研究で検討したところ、SD を保有していた投手は SD を保有していなかった投手に比べ KJOC score の有意な減少を認めたと報告した⁽⁶⁰⁾。また、SD を保有していた投手は防御率などの投手成績の不良、投球は可能であったが上肢に何かしらの症状があったとし、SD の保有は上肢機能の低下、パフォーマンスと傷害発症リスク増大に関連していると考察した⁽⁶⁰⁾。SD では上肢下降時における肩甲骨の下角の突出および肩甲骨内側縁の突出が最も一般的であり、僧帽筋上部線維の過活動と僧帽筋下部線維と前鋸筋の活動不良⁽³⁸⁾が関係しているとされている。症例報告では菱形筋の麻痺により肩甲骨内側縁の突出を示す翼状肩甲を呈したという報告がされ、肩甲骨内側縁の制御における菱形筋の重要性が示されている⁽⁶¹⁾。その他にも、肩甲骨烏口突起に付着する小胸筋の筋長短縮が上肢挙上運動中の肩甲骨内旋挙動を増大させることや⁽⁶²⁾、不良姿勢が肩甲骨外旋挙動の減少、すなわち肩甲骨内旋挙動の増大を示すことが報告されている^(31,32)。肩甲骨内側

縁の突出は肩甲骨内旋が増加することを意味し、肩甲骨の内旋が増加するとオーバーヘッドスポーツで肩や肘関節への負荷が増大し、障害を引き起こす可能性がある^(63,64)。肩甲骨内旋を徒手的に後退位に修正した状態で肩の障害を有する対象者の徒手抵抗時の筋出力が増大、かつ疼痛が減弱することから、菱形筋や僧帽筋下部線維などの肩甲骨後退筋群による肩甲骨運動制御の有効性が示されている^(65,66)。したがって、オーバーヘッドスポーツ選手の肩関節および肘関節の傷害の治療と予防には菱形筋を含む肩甲骨周囲筋の機能障害を改善し、肩甲骨の適切な運動制御を得ることが重要である。

1-4. 肩甲骨周囲筋エクササイズ

前述の通り、肩甲骨の適切な運動制御において僧帽筋、前鋸筋、菱形筋を中心とした肩甲骨周囲筋機能が重要であることから、それらの機能を賦活化させるエクササイズの介入効果を示した報告がなされている。Sakata らは学童期野球選手を対象に肩甲骨周囲筋エクササイズを含む身体機能改善プログラムを3ヵ月間介入した結果、介入群では非介入群に比べて肩と肘の傷害の発生率が低かったと報告している^(10,11)。Lynch らは水泳選手に肩甲骨周囲筋エクササイズを8週間介入したところ、肩の障害に関連する肩前方突出姿勢や僧帽筋下部線維や前鋸筋の筋力の改善を認めたことから、肩甲骨周囲筋エクササイズが肩の障害の改善に有効であることを示唆している⁽⁶⁷⁾。De May らは肩のインピンジメント症候群を有するオーバーヘッドスポーツ選手を対象に側臥位肩外旋エクササイズや側臥位肩屈曲エクササイズなど4種の肩甲骨周囲筋エクササイズを6週間介入した結果、肩の痛みと肩の機能スコアの改善を認めたと報告した⁽⁶⁸⁾。Turgut は肩峰下インピンジメントを有する患者に4種のストレッチと11種の肩甲骨周囲筋エクササイズを12週間介入したところ、肩の痛みの改善と上肢挙上時の肩甲骨上方回旋、後傾、外旋挙動が増大したと報告した⁽⁶⁹⁾。

各筋を賦活化させる上で有効なエクササイズを検討するための肩甲骨周囲筋エクササイズ時の筋活動解析に関する研究は数多く報告されている^(27,36,39,70,71)。しかし、先行研究の多くは僧帽筋下部線維や前鋸筋などの表層筋の活動を報告しているものであり、表層筋の下層に位置する菱形筋に関する報告は限られている。Moseley らは肩のリハビリテーションプログラムにおいて多く用いられる16種のエクササイズ時の筋活動を計測した結果、菱形筋は肩甲骨後退を伴うエクササイズで高値を示したことを報告した⁽⁵²⁾。Myers ら、Castelein ら、Alizadehkhayat らはチューブ負荷、ダンベルエクササイズ時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動の報告をしている^(72,73,74,75)。Berckmans らは初期リハビリテー

ションで用いられる 4 種のエクササイズ時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動を計測し、菱形筋は肩甲骨外旋が要求されるエクササイズにおいて高い活動を示したと報告した⁽⁵¹⁾。これらの報告はいずれも側臥位肩関節外旋など、単一面における単一運動を検討したものである。オーバーヘッドアスリートのリハビリテーションの初期段階では、僧帽筋下部線維や前鋸筋の適切な活動を阻害する僧帽筋上部線維の過活動を抑制するという観点から、肩挙上 90° 以下の単平面におけるエクササイズが推奨されている⁽²⁷⁾。一方、リハビリテーションの後期や予防期には、オーバーヘッドスポーツへの復帰に向けた準備として、動的・多関節複合運動のエクササイズが必要であるとされる⁽²⁷⁾。僧帽筋下部線維や前鋸筋、菱形筋を適切に賦活化させる多関節複合運動による肩甲骨周囲筋運動の筋活動特性を明らかにすることは、オーバーヘッドアスリートの肩および肘関節傷害の治療や予防において重要である。しかし、オーバーヘッドスポーツの動作に必要とされる多関節複合運動を用いたエクササイズ中の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋の活動を示した研究はない。

1-5. 投球動作

オーバーヘッドスポーツの中で野球の投球を例にとると、投球動作は肩や肘関節に大きなトルク発揮を必要とし、回旋筋腱板や菱形筋や僧帽筋下部線維、前鋸筋などの肩甲骨周囲筋の大きな筋活動を必要とするため、高負荷な動作である^(40,76)。さらに、投球動作を含むオーバーヘッドスポーツの動作では、肩甲骨上腕骨関節、肩甲骨胸郭関節、体幹の協調運動が必要となる^(27,76,77,78)。胸椎伸展や肩甲骨外旋の減少など体幹や肩甲骨の運動が不十分な場合、肩や肘関節への負荷が大きくなる^(22,23,63)。そのため、肩や肘関節の障害を予防・治療するためには、各関節の可動性を確保し、各関節の協調運動のための適切な運動制御を行うことが重要である。

投球に関連する肩および肘関節傷害の危険因子を前向きコホート研究で報告した Sakata らは立位姿勢における胸部後弯角度の増大を改善することが重要であるとしている^(10,11)。Sekiguchi らは一日のゲーム時間が3時間以上の学童期野球選手は肩もしくは肘関節傷害の発生率が5倍になると報告した⁽⁷⁹⁾。ゲームを行う姿勢は胸部が後弯し、頭部が前方突出しやすいため、このような姿勢の習慣化が肩および肘関節傷害に関連している可能性がある。また、近年において個人保有率が高い⁽⁸⁰⁾スマートフォンにおいても、ゲームと同様に不良姿勢の習慣化を助長し、肩および肘関節傷害に関連している可能性がある。しかし、Sakata らの報告を含めいずれも姿勢に着目しており、野球における実際の投球動作時に要求される胸部伸展動作との関連は明らかではない。動作中に観察されるダイナミックアライメントは筋収縮や慣性力、加速度など様々な要因による影響を反映した結果であることから、常に立位姿勢のようなスタティックアライメントを反映するとは限らない⁽⁸¹⁾。繰り返される投球により肩または肘関節障害が惹起されることから、実際の投球動作と立位姿勢の関連を明らかにする必要がある。また、投球動作の動作要素を含む肩甲骨周囲筋エクササイズ介入が、実際

の投球動作時の胸部伸展動作に変化を与えるか明らかにする必要がある。

1-6. 本研究の意義

前述のとおり、肩甲骨の運動制御において僧帽筋や前鋸筋とともに重要とされる菱形筋活動を定量化し、野球をはじめとするオーバーヘッドスポーツにおける肩および肘関節傷害の治療および予防について言及した研究は少ない。そのため本論文では①Scapular dyskinesis test で用いられる上肢挙上および下降運動、②姿勢保持、③多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズ時の筋活動解析を行った。①、②における菱形筋の活動が明らかになれば、肩甲骨の運動制御を理解する上で有効な資料になりうる。また、③を明らかにすれば菱形筋を適切に賦活化するエクササイズを選択する一助となり、肩および肘関節傷害の治療および予防に役立てることができる。

また、肩および肘関節傷害と関連するとされる立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性、肩甲骨周囲筋エクササイズ介入による変化を検討した。これらの関連性や介入後の変化が明らかとなれば、立位姿勢の評価や改善のみならず、実際の投球動作の評価や改善の重要性や肩甲骨周囲筋エクササイズ介入の有効性を示すことができ、肩および肘関節傷害の治療および予防に役立てることができる。

1-7. 本研究の目的

本研究の目的は以下の2つである。

1. 上肢挙上および下降運動時、姿勢保持時、多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズ時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動を明らかにすること。
2. 立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性を明らかにすること、また、肩甲骨周囲筋エクササイズ介入による変化を検討すること。

1-8. 研究課題

本研究の目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

【課題 1】 菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動解析

[課題 1-1] 上肢挙上および下降運動時の筋活動解析—健常者における検討—

Scapular dyskinesis test で用いられる上肢挙上および下降運動時の筋活動を明らかにし、菱形筋における肩甲骨の運動制御への貢献について検討する。

[課題 1-2] スマートフォン使用時の肩甲骨周囲筋と腰部体幹筋の筋活動解析—姿勢変化による差異—

近年日常的に使用されるスマートフォン使用時の姿勢変化による筋活動の差異を明らかにし、菱形筋を中心とした肩甲骨周囲筋の姿勢制御への貢献について検討する。

[課題 1-3] 多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズ時の筋活動解析

オーバーヘッドスポーツ動作に要求される多関節複合運動によるエクササイズ時の筋活動を明らかにし、その筋活動特性について検討する。

【課題 2】 立位姿勢および投球動作解析

[課題 2-1] 立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性

立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性を明らかにし、立位胸部屈曲角度は投球動作時の胸部伸展変化量と正の相関を示すという仮説を検証する。

[課題 2-2] 立位姿勢の胸部屈曲角度および投球時の胸部伸展挙動変化—肩甲骨周囲筋エクササイズを介入して—

肩甲骨周囲筋エクササイズ介入は立位姿勢の胸部屈曲角度の減少と投球動作時の胸部伸展を増大させるという仮説を検証する。

第2章 【研究課題1】 菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動解析

[課題1-1] 上肢挙上および下降運動時の筋活動解析—健常者における検討—

1. 目的

上肢挙上および下降運動時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動を明らかにし、正常な肩甲骨周囲筋の運動制御を検討することを目的とした。また、機能的に類似するとされる菱形筋と僧帽筋中部線維の機能的差異を比較・検討した。

2. 対象および方法

2-1. 対象者

対象は全試技の全てにおいてワイヤ電極による菱形筋の筋活動振幅を計測可能であった健常男性13名（年齢： 21 ± 2 歳、身長： $172.5\text{cm} \pm 4.5\text{cm}$ 、体重： $68.5\text{kg} \pm 9.1\text{kg}$ ）であった。対象者の包含基準は肩関節に痛みがなく、SDがない者とした。本実験は本学の「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施された（承認番号：2016-020）。対象者へ研究の目的や実施内容、対象者の権利や安全性、実験に際するリスクについて説明を行った後、本研究参加への同意を得た。

2-2. 筋活動計測

本研究では、ワイヤレス筋電計（BioLog DL-5000、S&ME社製）を用いて、菱形筋、僧帽筋上部線維、中部線維、下部線維、前鋸筋の筋活動を計測した。これら全筋は参加者の利き手側で測定された。菱形筋活動は、ワイヤ電極（Unique Medical社製）を用いて計測した。僧帽筋上部線維、中部線維、下部線維および前鋸筋の筋活動は表面電極（Blue Sensor N-00-S、メッツ社製）を用いて計測し

た。Sampling rate は 1000Hz であった。ワイヤ電極は直径 0.08mm であり、先端部および後端部を除いてテフロンコーティングで覆われ絶縁されていた（図 3-A）。この電極を 23G のカテラン針(0.60×60mm)に入れ、先端を 3mm から 5mm のフック状に折り返し、カテラン針を抜去する際に菱形筋内に留置できるようにした（図 3-B）。ワイヤ電極が装着されたカテラン針は、小型全自動高圧蒸気滅菌器（種田医器株式会社製）を用いて、121℃で 20 分間加熱滅菌した。

菱形筋へのワイヤ刺入に際し、参加者は利き手手背を腰部に当てた腹臥位になった（図 4-A）。超音波画像診断装置（LOGIQe、GE 社製）を用いて菱形筋を同定した後、挿入部をアルコールで消毒した。熟練した整形外科医 1 名が超音波画像診断装置のガイドの下、ワイヤ電極を菱形筋へ刺入した（図 4-B）。刺入箇所は肩甲骨棘三角と肩甲骨下角の midpoint であった（表 1）⁽⁸²⁾。菱形筋へのワイヤ電極刺入後、カテラン針のみを抜去し、ワイヤ電極を菱形筋内に留置した。正確な刺入を確認するために、菱形筋の筋活動振幅を肩甲骨の自動挙上、自動内転を行うことで確認した。僧帽筋上部線維、中部線維、下部線維および前鋸筋への表面電極の貼付に際し、皮膚抵抗を低下させるために剃毛およびアルコール消毒を行った後、筋繊維に対して平行に、電極間距離 2cm で表面電極を貼付した（表 1）^(36,83)。

各筋活動を比較するための標準化の指標として、最大随意等尺性収縮（MVIC）を測定した。各筋の MVIC 測定の詳細を表 1 に示す。MVIC 測定は同一検査者によって適用された徒手抵抗に対して実施した⁽⁸⁴⁾。各筋の MVIC 測定はランダムな順序で 5 秒間実施した。MVIC 測定の間には 1 分以上の休息時間を設定した。

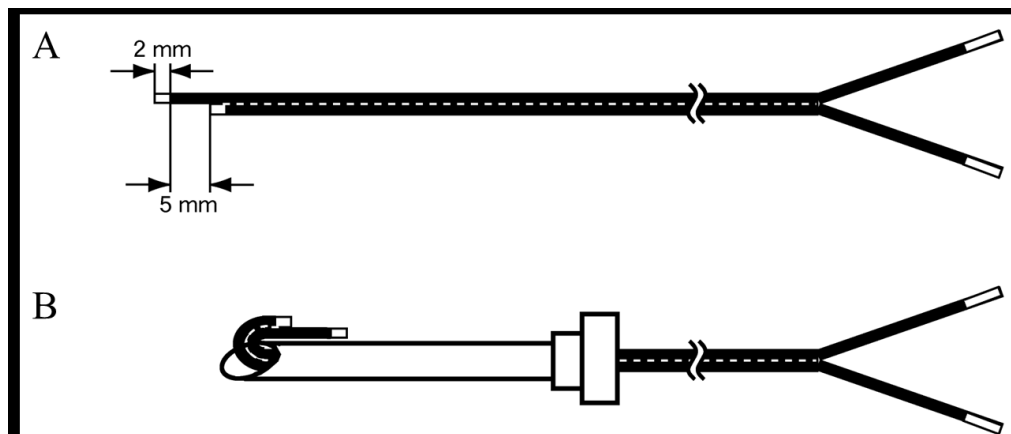


図 3. A:ワイヤ電極 B:ワイヤ電極を通したカテラン針

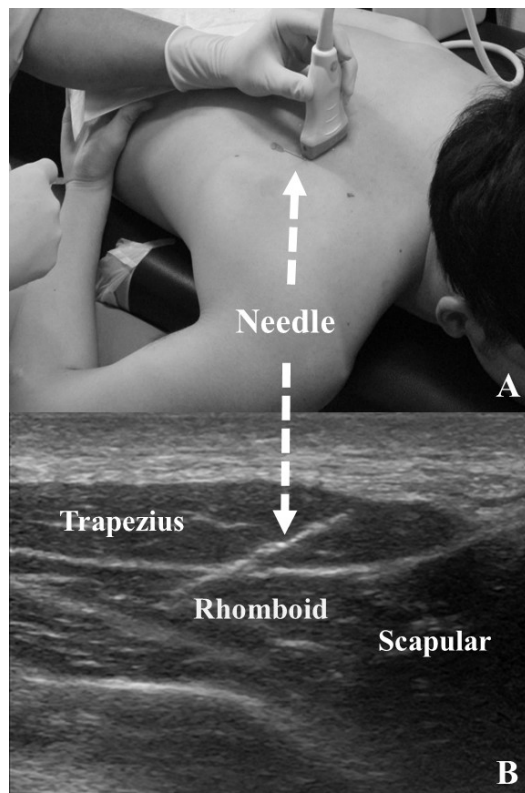


図 4. A:ワイヤ電極入りカテラン針刺入肢位

B:菱形筋へのワイヤ電極入りカテラン針刺入時の超音波画像

表 1. 電極入りカテラン針刺入位置及び表面電極貼付位置と MVIC 計測の詳細

筋	筋電刺入もしくは貼付位置	MVIC 計測 ⁽⁸⁴⁾
菱形筋	肩甲骨棘三角と 下角の midpoint ⁽⁸²⁾	対象者: 利き手手背を腰部に置いた腹臥位にて肩甲骨後退 および下方回旋 検査者: 上腕遠位に肩甲骨前方突出および上方回旋方向へ 徒手抵抗
僧帽筋上部線維	第7頸椎棘突起と 肩峰の midpoint 付近 ⁽³⁶⁾	対象者: 上肢を下垂させた座位にて肩甲骨を挙上 検査者: 頸部と肩峰の中間に肩甲骨下制方向への徒手抵抗
僧帽筋中部線維	第3胸椎高位の胸椎と 肩甲骨内側縁の midpoint ⁽⁸³⁾	対象者: 肩関節90度外転させた腹臥位にて肩甲骨後退 検査者: 上腕遠位に肩甲骨前方突出方向への徒手抵抗
僧帽筋下部線維	肩甲骨棘基部から第8胸椎を結んだ 線上の2/3の点 ⁽⁸³⁾	対象者: 肩関節145度外転させた腹臥位にて肩甲骨後退 検査者: 上腕遠位に肩甲骨前方突出方向への徒手抵抗
前鋸筋	肩甲骨下角高位の腋窩直下 (広背筋の内側) ⁽³⁶⁾	対象者: 肩関節130度屈曲させた座位にて肩甲骨屈曲 検査者: 上腕遠位に肩甲骨伸展、下方回旋方向への徒手抵抗

2-3. 実験試技

実験試技は立位片側上肢挙上および下降運動とした。運動方向は肩関節屈曲、肩関節外転の2方向であり、順序はランダムとした。対象者は60拍/秒に設定されたメトロノームに合わせて上肢を体側から3秒間で挙上、3秒間で下降した。上肢下降後、3秒間上肢を体側に保持した姿勢を保持した後、再び上肢を挙上させた。試技回数は肩関節屈曲、外転それぞれ5回であった。実験試技はハイスピードカメラ(EXILIM EX-100, CASIO社製)を用いて120Hzで撮影された。実験試技間の休息は1分以上設けた。

2-4. データ解析

生体情報解析ソフトウェア(BIMUTAS-Video、キッセイコムテック社製)を用いて筋活動を解析した。筋活動データはモーションアーチファクトを除去するためにbandpass filter 20-450 Hzでフィルタ処理された^(85,86)。筋活動データは各筋活動の二乗平均平方根(RMS; Root Mean Square)をMVICのRMSの最高

値で除して標準化し、%MVICとして算出された。MVICのRMSはMVIC測定
の1秒間のRMSを用いた。

解析区分について、上肢挙上および下降運動をそれぞれ1秒間ごとの3区分
に分類し、上肢挙上前期、中期、後期、および上肢下降前期、中期、後期とした。
各期間の筋活動の代表値は、試技を5回実施したうち中間3回の筋活動の平均
値とした。

2-5. 統計解析

全データは平均値±標準偏差で表された。統計解析はSPSS version 26.0 (IBM
社製)を用いて実施された。挙上方向(肩関節屈曲、外転)と期間(挙上前期、
中期、後期、下降前期、中期、後期)の2要因による2元配置分散分析を用い
て、筋活動を比較した。また、菱形筋と僧帽筋中部線維の筋活動を比較するた
めに、筋(菱形筋、僧帽筋中部線維)と期間(同上)の2要因による2元配置分散
分析を合わせて行った。事後検定はTukey法を用いた。 $\text{partial } \eta^2$ は筋活動量の
差の大きさを表す2元配置分散分析の効果量として算出された。 $\text{partial } \eta^2$ は
0.01以上から0.06未満を小、0.06から0.14未満を中、0.14以上を大と定義さ
れた⁽⁸⁷⁾。有意水準は5%とした。

3. 結果

菱形筋の上肢挙上および下降運動時の筋活動を図 5 に示す。菱形筋の筋活動は肩関節屈曲、外転のいずれも上肢挙上後期で最も高い活動を示した(屈曲:23.7±16.5%MVIC、外転:23.1±14.7%MVIC)。2元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{5,144} = 0.24$, $p = 0.94$, $\text{partial } \eta^2 = 0.009$)、期間にのみ有意な主効果を認めた ($F_{5,144} = 11.41$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.284$)。事後検定の結果、挙上後期は全ての期間に対し、有意に高値を示した ($p < 0.05$)。また、挙上中期(15.0±10.4%MVIC)および下降前期(13.9±9.1%MVIC)は下降後期(5.8±3.5%MVIC)に対して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

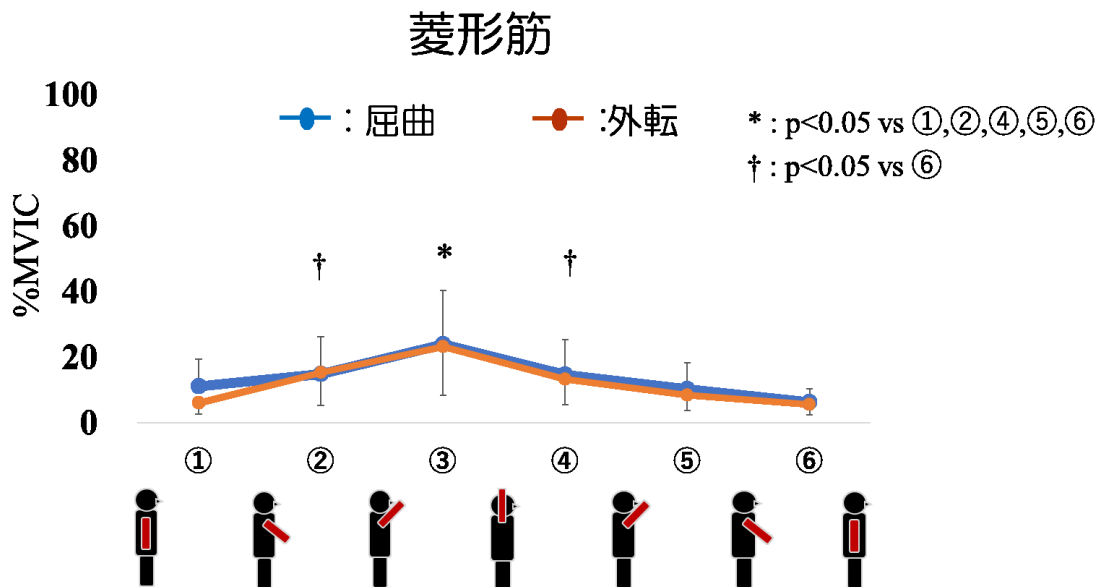


図 5. 上肢挙上および下降運動時の菱形筋活動

図中横軸は①:挙上前期、②:挙上中期、③:挙上後期、④:下降前期、⑤:下降中期、⑥:下降後期を示す (以下、同様)。

前鋸筋の上肢挙上および下降運動時の筋活動を図 6 に示す。前鋸筋の筋活動は肩関節屈曲、外転のいずれも上肢挙上後期で最も高い活動を示した(屈曲:45.8±32.2%MVIC、外転:45.8±28.1%MVIC)。2元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{5,144}=0.02$, $p=1.00$, $\text{partial } \eta^2=0.001$)、期間にのみ有意な主効果を認めた ($F_{5,144}=23.12$, $p<0.01$, $\text{partial } \eta^2=0.445$)。事後検定の結果、挙上後期は全ての期間に対し、有意に高値を示した($p<0.01$)。また、挙上中期(25.1±12.1%MVIC)および下降前期(25.1±13.9%MVIC)は下降中期(12.4±7.1%MVIC)および後期(5.1±3.9%MVIC)に対して有意に高値を示した($p<0.05$)。

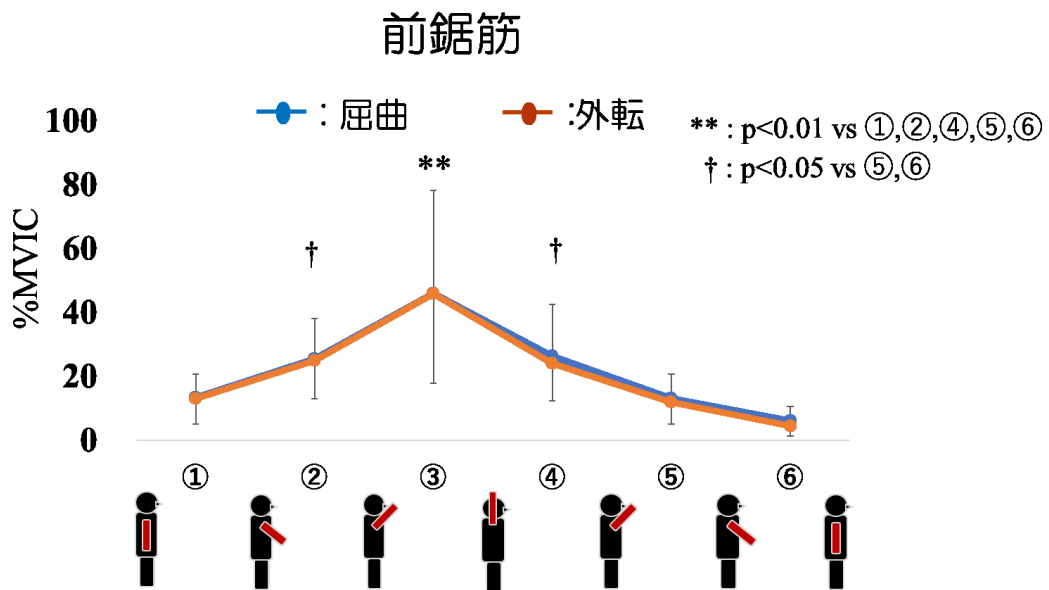


図 6. 上肢挙上および下降運動時の前鋸筋活動

僧帽筋上部線維の上肢挙上および下降運動時の筋活動を図 7 に示す。僧帽筋上部線維の筋活動は肩関節屈曲、外転のいずれも上肢挙上後期で最も高い活動を示した（屈曲： $20.2 \pm 11.5\% \text{MVIC}$ 、外転： $24.8 \pm 17.3\% \text{MVIC}$ ）。2 元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず（ $F_{5,144} = 0.26$, $p = 0.92$, $\text{partial } \eta^2 = 0.009$ ）、期間にのみ有意な主効果を認めた（ $F_{5,144} = 11.22$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.280$ ）。事後検定の結果、挙上後期は下降前期（ $11.8 \pm 7.1\% \text{MVIC}$ ）、中期（ $9.1 \pm 4.9\% \text{MVIC}$ ）、後期（ $3.8 \pm 3.9\% \text{MVIC}$ ）に対し有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。また、挙上中期（ $19.7 \pm 12.2\% \text{MVIC}$ ）は下降中期（ $9.5 \pm 5.1\% \text{MVIC}$ ）および後期（ $4.3 \pm 3.4\% \text{MVIC}$ ）に対して有意に高値を示した（ $p < 0.01$ ）。挙上前期（ $14.6 \pm 11.5\% \text{MVIC}$ ）および下降前期（ $12.8 \pm 8.4\% \text{MVIC}$ ）は下降後期（ $4.3 \pm 3.4\% \text{MVIC}$ ）に対して有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。

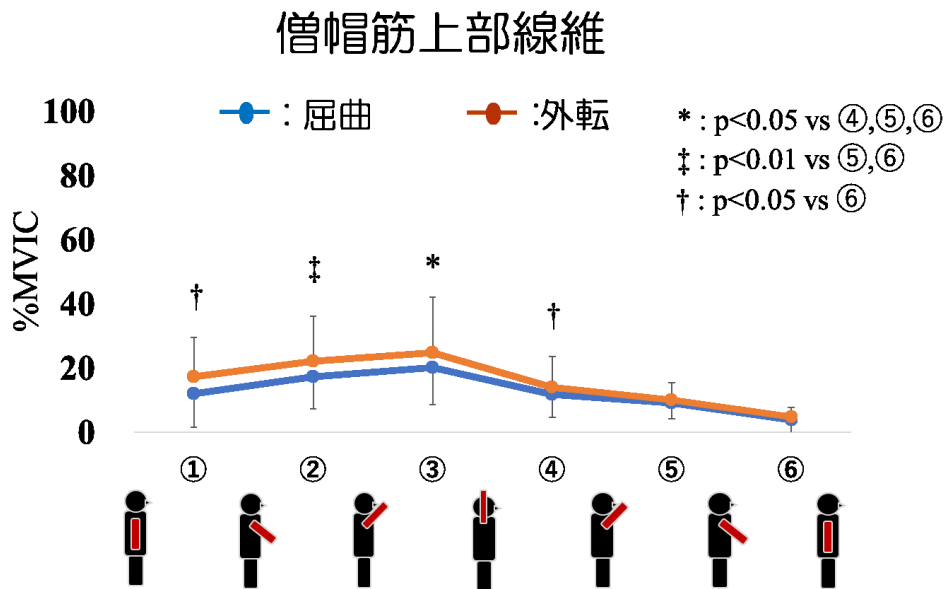


図 7. 上肢挙上および下降運動時の僧帽筋上部線維筋活動

僧帽筋中部線維の上肢挙上および下降運動時の筋活動を図 8 に示す。僧帽筋中部線維の筋活動は肩関節屈曲、外転のいずれも上肢挙上後期で最も高い活動を示した（屈曲： $6.2 \pm 9.4\% \text{MVIC}$ 、外転： $11.7 \pm 9.2\% \text{MVIC}$ ）。2 元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず（ $F_{5,144} = 1.32$, $p = 0.25$, $\text{partial } \eta^2 = 0.044$ ）、挙上方向（ $F_{1,144} = 35.35$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.197$ ）、期間に有意な主効果を認めた（ $F_{5,144} = 5.26$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.154$ ）。事後検定の結果、挙上後期は挙上前期（ $4.5 \pm 4.0\% \text{MVIC}$ ）、下降中期（ $3.9 \pm 3.0\% \text{MVIC}$ ）、下降後期（ $2.2 \pm 1.6\% \text{MVIC}$ ）に対し有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。また、挙上中期（ $7.0 \pm 7.3\% \text{MVIC}$ ）は下降後期に対して有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。

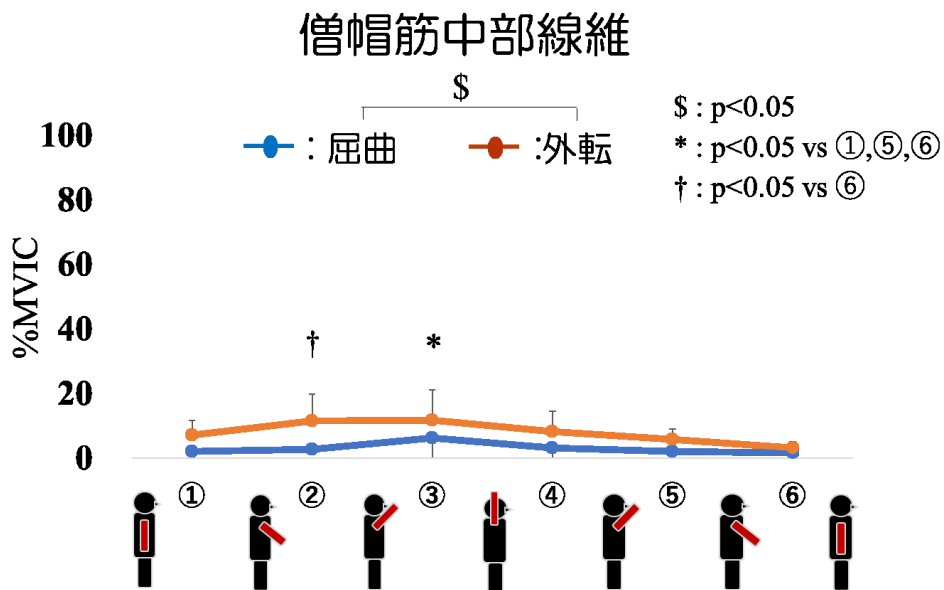


図 8. 上肢挙上および下降運動時の僧帽筋中部線維筋活動

僧帽筋下部線維の上肢挙上および下降運動時の筋活動を図 9 に示す。僧帽筋下部線維の筋活動は肩関節屈曲、外転のいずれも上肢挙上後期で最も高い活動を示した（屈曲： $24.1 \pm 12.3\% \text{MVIC}$ 、外転： $26.2 \pm 11.7\% \text{MVIC}$ ）。2 元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず（ $F_{5,144} = 0.31$, $p = 0.90$, $\text{partial } \eta^2 = 0.011$ ）、期間にのみ有意な主効果を認めた（ $F_{5,144} = 13.44$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.318$ ）。事後検定の結果、挙上後期は挙上前期（ $8.9 \pm 8.6\% \text{MVIC}$ ）、下降前期（ $16.3 \pm 10.2\% \text{MVIC}$ ）、中期（ $10.5 \pm 9.2\% \text{MVIC}$ ）、後期（ $3.7 \pm 3.3\% \text{MVIC}$ ）に対し有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。また、挙上中期と下降前期は下降後期に対して有意に高値を示した（ $p < 0.01$ ）。

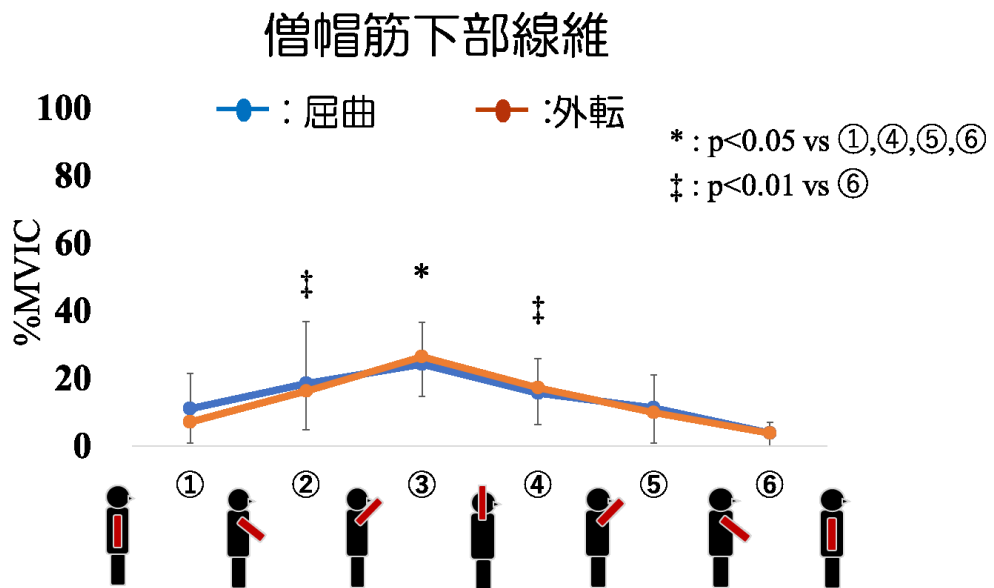


図 9. 上肢挙上および下降運動時の僧帽筋下部線維筋活動

菱形筋と僧帽筋中部線維の屈曲試技の各期間における筋活動を図 10 に示す。菱形筋の筋活動はすべての期間において僧帽筋中部線維の筋活動に対し、高値を示した。2 元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{5,144} = 1.93$, $p = 0.09$, $\text{partial } \eta^2 = 0.063$)、筋 ($F_{1,144} = 67.66$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.320$) および期間 ($F_{5,144} = 5.91$, $p < 0.01$, $\text{partial } \eta^2 = 0.170$) に有意な主効果を認めた。菱形筋の筋活動の総和は $13.4 \pm 11.5\% \text{MVIC}$ 、僧帽筋中部線維の総和は $2.9 \pm 4.3\% \text{MVIC}$ であった。

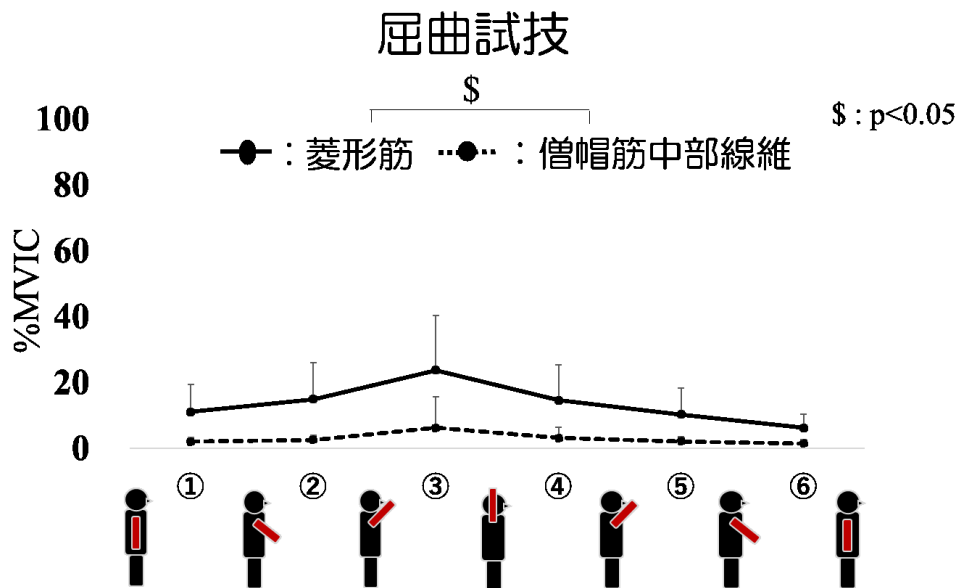


図 10. 菱形筋と僧帽筋中部線維の屈曲試技の各期間における筋活動

菱形筋と僧帽筋中部線維の外転試技の各期間における筋活動を図 11 に示す。菱形筋の筋活動は挙上前期を除くすべての期間において、僧帽筋中部線維の筋活動に対し、高値を示した。2 元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{5,144} = 2.08, p = 0.07, \text{partial } \eta^2 = 0.067$)、筋 ($F_{1,144} = 11.86, p < 0.01, \text{partial } \eta^2 = 0.076$) および期間 ($F_{5,144} = 11.52, p < 0.01, \text{partial } \eta^2 = 0.286$) に有意な主効果を認めた。菱形筋の筋活動の総和は $11.9 \pm 10.2\% \text{MVIC}$ 、僧帽筋中部線維の総和は $7.9 \pm 6.6\% \text{MVIC}$ であった。

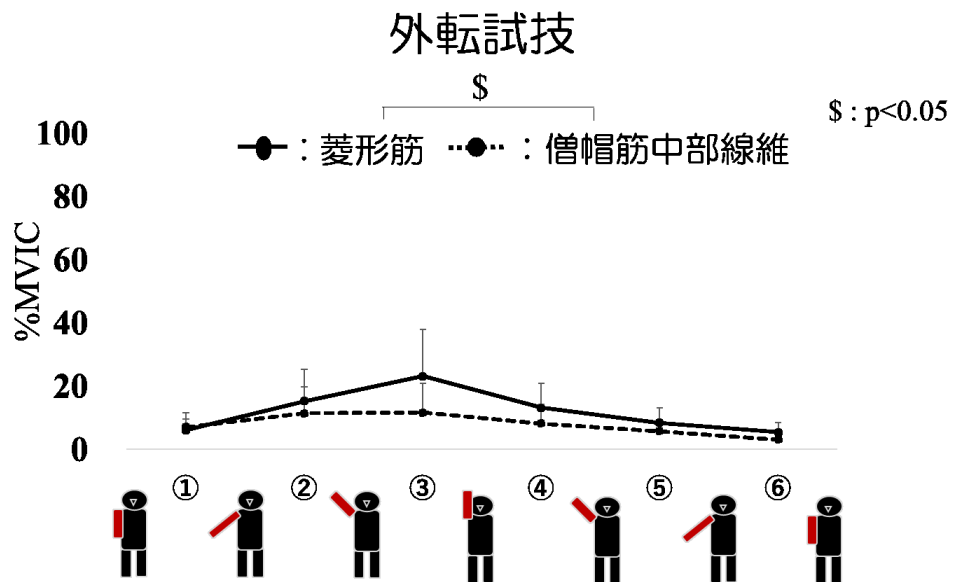


図 11. 菱形筋と僧帽筋中部線維の外転試技の各期間における筋活動

4. 考察

本課題の目的は上肢挙上および下降運動時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動を明らかにし、正常な肩甲骨周囲筋の運動制御を検討することであった。本課題の主要な知見は2点ある。第1にすべての筋は挙上後期で最も高い筋活動を示した。第2に菱形筋は僧帽筋中部線維に対し肩関節屈曲、外転ともに高い筋活動を示した。



先行研究において、上肢挙上期は上肢下降期に比べ僧帽筋上部線維、下部線維、前鋸筋の活動が高かったと報告されており^(35,38,85,88)、本課題においても同様の結果が示された。これは重力に抗して上肢を挙上させる上でより大きな筋活動を要求された結果と考えられる。また、挙上期は肩甲骨を上方回旋、後傾、外旋させるために菱形筋を除くすべての筋は求心性収縮を呈していたと考えられる。一方、下降期は遠心性収縮が要求されていたことを考えると生理学的な力-速度関係から挙上期は下降期に比べ、力発揮に不利であった可能性があり、結果としてより大きな筋活動を要求されたと考えられる。菱形筋は拮抗筋でもあり共同筋でもある前鋸筋と肩甲骨内側縁で付着部を隣接もしくは共有している^(37,54)ことから、両筋は協調して肩甲骨の運動制御に作用すると示唆されている。本課題の結果から、菱形筋は前鋸筋の活動増大に合わせ協調的に活動し、挙上期においては拮抗筋として過度な上方回旋の制御に、全期間における肩甲骨内側縁の制御（図12）には前鋸筋との共同筋として貢献していた可能性がある。上肢下降時はSDにみられるように肩甲骨内側縁の突出を示すことが多い⁽³⁸⁾。一般に内側縁の突出は長胸神経麻痺などによる前鋸筋の機能障害が関係しているとされる。しかし、偶力を考慮すると肩甲骨内側縁を胸郭へ押し付ける方向と力の大きさは前鋸筋と菱形筋の共同収縮により効率化されると考えられる。以上より、正常な肩甲骨の運動制御において、菱形筋と前鋸筋の協調的な活動が重要であることが示唆される。Tsuruikeらは大学野球選手におけるSDの保有は上肢機能

の低下、パフォーマンスと傷害発症リスク増大に関連していたと報告した⁽⁶⁰⁾。
前鋸筋と菱形筋を賦活化させるエクササイズの実施がSDの改善、肩および肘関節傷害予防や改善に重要であると考えられる。

菱形筋と僧帽筋中部線維は両筋ともに肩甲骨を後退させる作用を有することから機能的に類似するとされる⁽⁴⁷⁾。本課題の結果、菱形筋は僧帽筋中部線維に対し肩関節屈曲、外転ともに高い筋活動を示したことから、両筋は機能的差異があることが示唆される。菱形筋は肩甲骨後退に加え、前述のように前鋸筋と協調的な活動をすることで過度な上方回旋の制御と肩甲骨内側縁の制御に貢献している可能性がある。一方、僧帽筋中部線維は屈曲試技に比べ相対的に肩甲骨後退位で上肢を挙上する外転試技で高値を示したことから、主として肩甲骨後退に貢献していると考えられる。

本課題の限界はいくつかある。対象者は菱形筋にワイヤ電極を留置した状態で各試技を行ったため、各試技中に痛みを感じた可能性があり、それが筋活動データに影響を与えた可能性がある。また、肩関節や体幹の可動域を測定していないため、可動域の差異が筋活動データに影響を与えていた可能性がある。ワイヤ電極を使用する実験は侵襲性が高いため、サンプル数は比較的少なかった。対象者は全例若年健常男性であったことから、本研究結果は健常女性やオーバーヘッドアスリートでは異なる可能性がある。最後に、肩甲骨や体幹の動作解析を実施しておらず、実際の肩甲骨や体幹の動作の定量化を行っていない。

—水平面—

- : 肩甲骨内側縁
- \vec{d} :  前鋸筋のみ
- \vec{e} :  前鋸筋+菱形筋

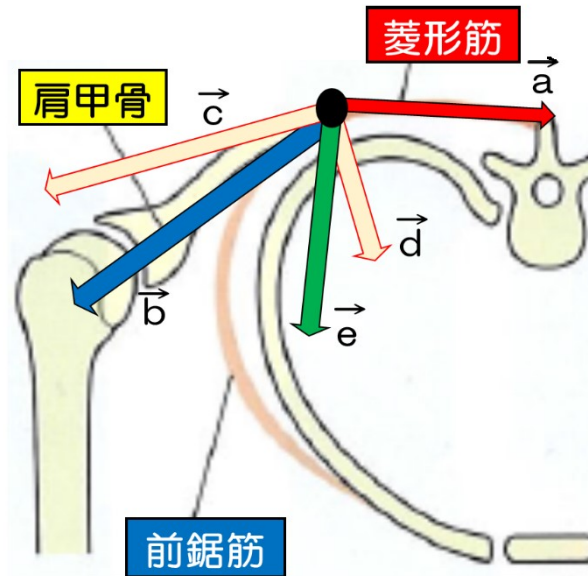


図 12. 菱形筋と前鋸筋の水平面上における肩甲骨内側縁の運動制御への貢献
a ベクトル：菱形筋の力成分、b ベクトル：前鋸筋の力成分、c ベクトル：b ベクトルを分解した肩甲骨前方突出に作用するベクトル、d ベクトル：b ベクトルを分解した肩甲骨内側縁を胸郭に押し付ける方向に作用するベクトル、e ベクトル：菱形筋と前鋸筋の力成分を合成した肩甲骨内側縁を胸郭に押し付ける方向に作用するベクトル。

前鋸筋単独に比べ、菱形筋と前鋸筋が協調的に活動することで肩甲骨内側縁を制御する上でのより有利な力の大きさと力の向きを獲得していることが推察される。

5. まとめ

菱形筋、前鋸筋、僧帽筋上部線維、中部線維、下部線維は上肢挙上期に高い活動を示し、特に挙上後期で最も高値を示した。菱形筋は前鋸筋と協調的な活動を示したことから、挙上期における過度な上方回旋の制御と全期間における肩甲骨内側縁の制御に貢献していることが示唆され、主として肩甲骨後退に作用する僧帽筋中部線維と機能的差異があることが示唆された。

[課題 1-2] スマートフォン使用時の肩甲骨周囲筋と腰部体幹筋活動解析 —姿勢変化による差異—

(掲載論文：Adachi G, Oshikawa T, Akuzawa H, Kaneoka K. Differences in the activity of the shoulder girdle and lower back muscles owing to postural alteration while using a smartphone. J Med Invest, 67, 3-4, 274-279, 2020)

1. 目的

近年において多くの人がスマートフォンを利用している。日本では、個人のスマートフォン保有率は64.7%であり、20~30代の個人の9割以上が1台を所有している⁽⁸⁰⁾。スマートフォン使用中は画面を見るために手部を前方に位置させることから頸部が前屈し、肩甲骨が前方突出するため、頭部および肩が前方突出した不良姿勢をとる場合が多い⁽⁸⁹⁾。前述のように不良姿勢と肩および肘関節傷害の関連性が示されている^(10,11,67)が不良姿勢の影響を筋活動的観点から検討した報告は少ない。McLeanは頭部および肩前方突出姿勢や円背姿勢時の僧帽筋上部線維や菱形筋の筋活動を報告した⁽⁹⁰⁾が、菱形筋を表面電極で計測していたことから結果の解釈に疑問を残した。姿勢制御に関連する菱形筋を含む肩甲骨周囲筋や腰部体幹筋の不良姿勢時の筋活動が明らかになれば、姿勢と肩および肘関節傷害の関連性を考察する一助となる。

本課題の目的は、姿勢の変化がスマートフォン使用時の肩甲骨周囲筋と腰部体幹筋の活動に及ぼす影響を明らかにすることである。本研究の仮説は、不良姿勢は菱形筋、僧帽筋中部線維、僧帽筋下部線維などの肩甲骨周囲筋の活動低下、腰部脊柱起立筋や腰部多裂筋などの腰部体幹筋の活動亢進を示す、とした。

2. 対象および方法

2-1. 対象者

健常男性 16 名（年齢 21 ± 2 歳、身長 170.9 ± 5.1 cm、体重 68.1 ± 10.2 kg）を対象とした。対象者は過去 3 ヶ月間に腰痛、肩痛、頸部痛がない者とした。本課題は本学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」で承認され、対象者の安全や権利に配慮し、実施された（承認番号：2016-020）。

2-2. 姿勢計測

対象者の利き手側の耳珠、肩峰、C7 棘突起、上前腸骨棘（ASIS）、上後腸骨棘（PSIS）、大転子にマーカーを貼付した。本課題ではスマートフォン使用中における良姿勢および不良姿勢の 2 つの姿勢を測定した。良姿勢は耳珠と肩峰マーカーが大転子マーカーを通る垂直線により近くに位置する場合を良姿勢と定義し、耳珠と肩峰マーカーが大転子マーカーを通る垂直線からより遠くに位置する場合を不良姿勢と定義した（図 13）。対象者はスマートフォンを保持した上で各姿勢をランダムな順番で 10 秒間保持した。デジタルカメラ（EXLIM EX-100、CASIO 社製）を使用し、対象者の側方より姿勢の撮影を行った。

各角度の位置関係を図 14 に示す。C7 に対する頭部前方突出角（FHA）と肩前方突出角（FSA-C7）はそれぞれ C7 マーカーを通る垂直線と C7 と耳珠、C7 と肩峰マーカーを結ぶ線で形成される角度として定義した⁽⁹¹⁾。大転子に対する肩前方突出角（FSA-GT）は大転子マーカーを通る垂直線と大転子と肩峰マーカーを結ぶ線によって形成される角度として定義した。骨盤前傾角度（APT）は、ASIS マーカーを通る水平線と ASIS マーカーと PSIS マーカーを結ぶ線によって形成される角度として定義された。Sagittal vertical axis（SVA）距離率は C7 から ASIS と PSIS の中点を結ぶ垂直線までの距離を ASIS から PSIS までの距離で除し、100 を乗じて算出した（図 15）。ImageJ⁽⁹²⁾を用いて、全ての角度と SVA

距離率を3回測定した。また、3回の測定の平均値と級内相関係数（ICC）を算出した。各角度とSVA距離率の代表値は3回測定した平均値とした。

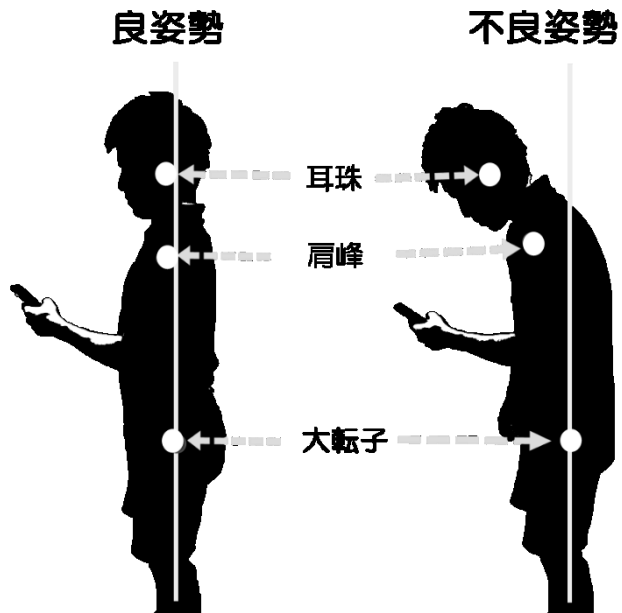


図 13. 姿勢の定義

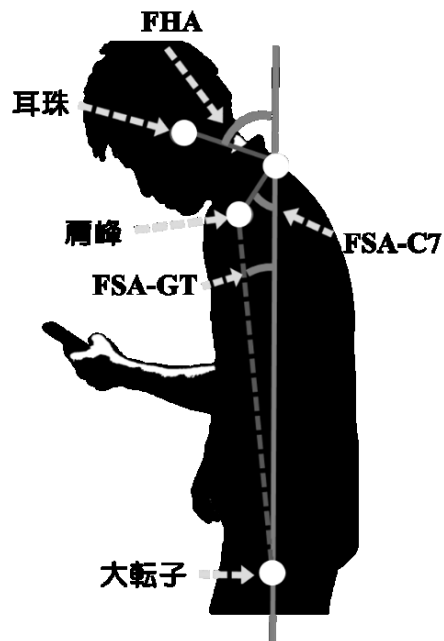


図 14. 各姿勢角度の定義

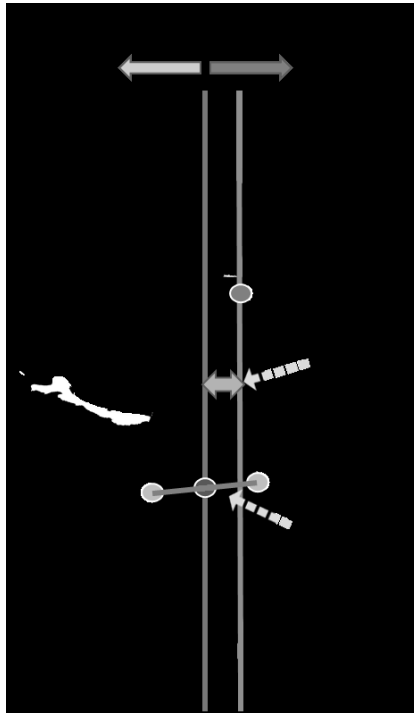


図 15. SVA distance rate

(a):ASIS と PSIS の中点を通る鉛直線、(b):C7 を通る鉛直線、

(c):a と b の距離、(d):ASIS と PSIS の距離

SVA distance rate は $(c)/(d) \cdot 100$ で計算された。

正の値：(b)が(a)に対し後方に位置することを意味する

負の値：(b)が(a)に対し前方に位置することを意味する

2-3. 筋活動計測

本課題において、使用した機材や設定は前鋸筋活動の計測をしなかった点、腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の筋活動を計測した点を除き、課題 1-1 第 2 節第 2 項と同様であった。表面電極の貼付位置について、腰部脊柱起立筋は第 3 腰椎棘突起の 30mm 外側⁽⁹³⁾、腰部多裂筋は第 5 腰椎棘突起の 20mm 外側に貼付した⁽⁹⁴⁾。腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の MVIC 測定について、対象者は仰臥位から体幹を伸展し、検査者が胸郭上部に徒手抵抗をかけて実施した⁽⁹³⁾。

2-4. データ解析

本課題におけるデータ解析は課題 1-1 第 2 節第 4 項と同様であった。

2-5. 統計解析

良姿勢と不良姿勢における各姿勢角度や SVA 距離率、各筋活動を比較するために対応のある t 検定を用いた。t 検定および ICC の統計解析は SPSS version 23.0 (IBM 社製) を用いて行った。各姿勢における各測定項目の差の大きさを表すために効果量 (ES) を算出した。ES の値はそれぞれ 0.2 以上 0.5 未満を小、0.5 以上 0.8 未満を中、0.8 以上を大と定義した⁽⁹⁵⁾。有意水準は 5%とした。

3. 結果

3-1. 姿勢解析

各姿勢の姿勢角度と SVA 距離率をそれぞれ表 2、図 16 に示す。3 回実施した姿勢測定 ICC(1,1)は 0.984~0.995 であり、いずれの場合も信頼性が高かった。良姿勢と不良姿勢の間の FHA ($50.5 \pm 7.2^\circ$ vs $67.2 \pm 11.2^\circ$, $p < 0.01$, $ES = 1.77$)、FSA-GT ($0.0 \pm 2.3^\circ$ vs $8.2 \pm 5.2^\circ$, $p < 0.01$, $ES = 2.05$)、APT ($7.0 \pm 3.9^\circ$ vs $4.4 \pm 4.1^\circ$, $p < 0.01$, $ES = 0.65$)、SVA 距離率 ($37.0 \pm 9.9\%$ vs $-3.5 \pm 24.4\%$, $p < 0.01$, $ES = 2.17$) において有意な差を認めた。FSA-C7 は良姿勢と不良姿勢の間に有意な差を認めなかった ($56.4 \pm 15.0^\circ$ vs $53.9 \pm 10.1^\circ$, $p = 0.51$, $ES = 0.19$)。

表 2. 各姿勢の姿勢角度

	良姿勢	不良姿勢	p value	Effect size
FHA	50.5±7.2	67.2±11.2	0.000*	1.77
FSA-C7	56.4±15.0	53.9±10.1	0.51	0.19
FSA-GT	0.0±2.3	8.2±5.2	0.000*	2.05
APT	7.0±3.9	4.4±4.1	0.001*	0.65

平均±標準偏差で表記 単位:度

FHA: Forward head angle, FSA-C7: Forward shoulder angle for C7, FSA-GT: Forward shoulder angle for greater trochanter, PAT: Pelvic anterior tilt angle

*: Significant difference by paired t test.

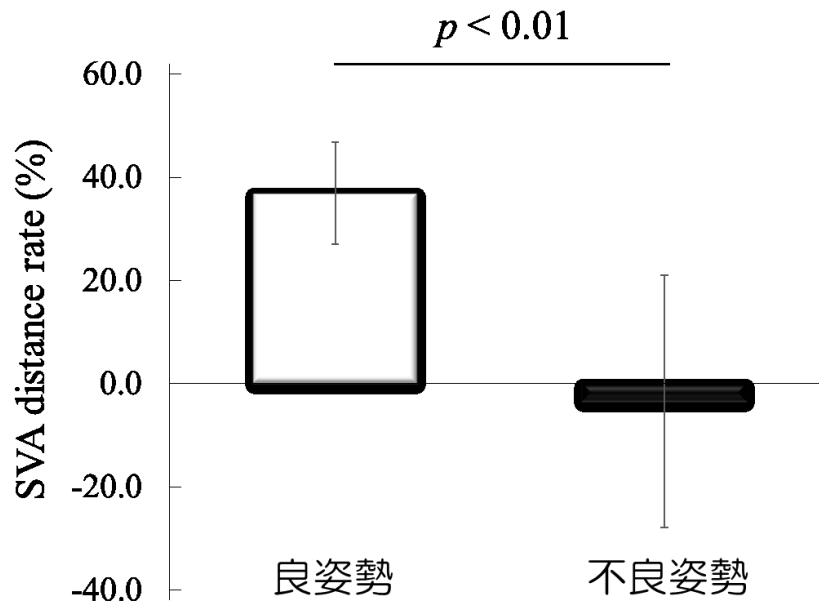


図 16. 良姿勢と不良姿勢間の sagittal vertical axis(SVA)distance rate の差異

3-2. 筋活動解析

各姿勢における各筋の筋活動を図 17 に示す。菱形筋 ($4.4 \pm 7.5\% \text{MVIC}$ vs $8.4 \pm 7.2\% \text{MVIC}$, $p < 0.01$, $ES = 0.55$) と僧帽筋下部線維 ($5.0 \pm 5.4\% \text{MVIC}$ vs $10.2 \pm 8.3\% \text{MVIC}$, $p < 0.05$, $ES = 0.75$) の筋活動は不良姿勢が良姿勢に対して有意に低かった。また、腰部脊柱起立筋 ($11.1 \pm 6.1\% \text{MVIC}$ vs $4.4 \pm 3.0\% \text{MVIC}$, $p < 0.01$, $ES = 1.39$) と腰部多裂筋 ($10.0 \pm 4.0\% \text{MVIC}$ vs $4.1 \pm 2.0\% \text{MVIC}$, $p < 0.01$, $ES = 1.85$) の筋活動は不良姿勢が良姿勢に対して有意に高かった。良姿勢と不良姿勢における菱形筋、僧帽筋下部線維、腰部脊柱起立筋、腰部多裂筋の代表的な筋活動生波形データを図 18 に示す。僧帽筋上部線維 ($2.8 \pm 3.9\% \text{MVIC}$ vs $1.9 \pm 3.0\% \text{MVIC}$, $p = 0.09$, $ES = 0.25$)、僧帽筋中部線維 ($1.3 \pm 1.0\% \text{MVIC}$ vs $1.6 \pm 1.3\% \text{MVIC}$, $p = 0.54$, $ES = 0.20$) は姿勢による有意な差を認めなかった。

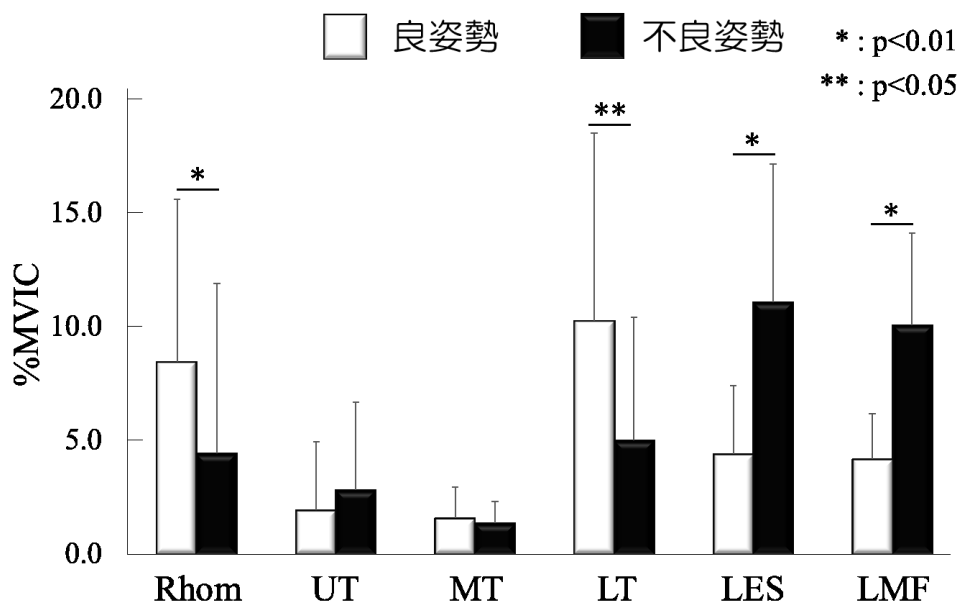


図 17. 良姿勢および不良姿勢における各筋の筋活動

Rhom：菱形筋、UT：僧帽筋上部線維、MT：僧帽筋中部線維、
 LT：僧帽筋下部線維、LES：腰部脊柱起立筋、LMF：腰部多裂筋（以下同様）

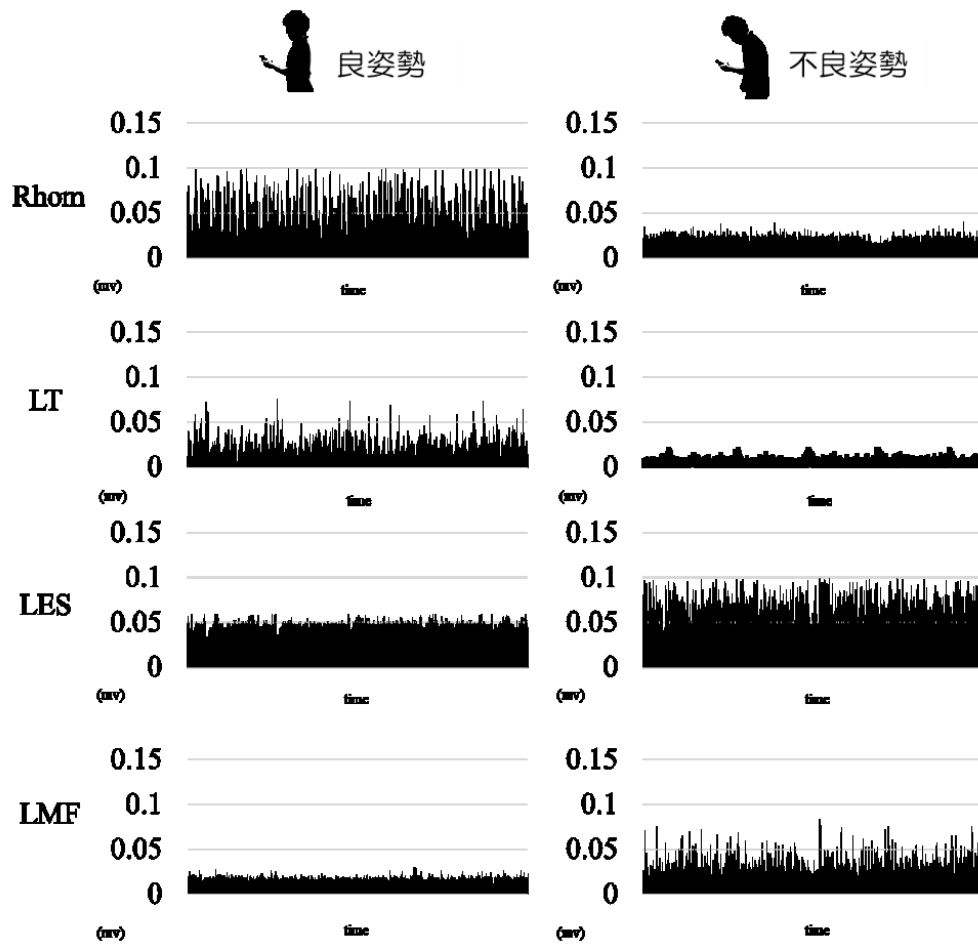


図 18. 良姿勢および不良姿勢における Rhom、LT、LES、LMF の代表的筋活動生波形データ

4. 考察

本課題の主要な知見は、不良姿勢は良姿勢に比べ菱形筋と僧帽筋下部線維の筋活動が低値を示し、腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の筋活動が高値を示した、であった。本課題の結果から、不良姿勢は良姿勢と比較して菱形筋と僧帽筋下部線維の活動低下、腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の活動亢進に関連していることが示唆された。

姿勢解析について、FHA、FSA-GT、APT、SVA 距離率において良姿勢と不良姿勢の間に有意な差を認めた。これは良姿勢が不良姿勢に比べ理想的な姿勢に近く、不良姿勢は矢状面上で良姿勢に比べ頭部および肩が前方に突出した姿勢であったことを示している。矢状面上での理想的な姿勢アライメントは耳垂、肩峰、大転子、膝蓋骨後面、外果の前方が垂直線上に位置しているときとされる⁽⁹⁶⁾。本研究における意識的な姿勢の変化は筋活動の変化に影響を与えていた可能性がある。

不良姿勢は良姿勢に比べ菱形筋と僧帽筋下部線維の筋活動が有意に低かった。これらの筋は姿勢保持に重要と考えられており、頸椎の姿勢に影響を与えることが報告されている^(97,98,99)。頭部および肩前方突出のような不良姿勢はオーバーヘッド動作時の前鋸筋活動、肩甲骨の外旋や後傾挙動を制限する^(32,91)。これらのことから、不良姿勢での長時間スマートフォンの使用が日常的に習慣化すると、前鋸筋に加え菱形筋や僧帽筋下部線維などの機能が低下し、オーバーヘッド動作時の適切な肩甲骨の運動制御が障害されることで肩および肘関節傷害につながる可能性がある。

これまでの研究では頭部前方突出姿勢や円背姿勢などの不良姿勢は、頸部脊柱起立筋の筋活動が亢進することが示されている^(90,100)。一方で、スマートフォン使用中の姿勢の違いが腰部体幹筋の筋活動に与える影響を明らかにした研究はない。本課題では、不良姿勢は良姿勢に比べ腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の筋

活動が高値を示した。不良姿勢の場合、頭部や肩が前方に変位するため身体の質量中心が前方に移動することで体幹屈曲トルクが増加し、その結果、体幹屈曲トルクを相殺するために体幹伸展トルク生成する腰部脊柱起立筋と腰部多裂筋の筋活動が高くなったと考えられる。先行研究において、体幹屈曲角度の増加と胸椎後弯の増加により、脊柱起立筋への負荷が増加することが示されている^(101,102)。また、腰椎後弯の継続は腰部脊柱起立筋の筋活動と痙攣の増加を引き起こしたと報告された⁽¹⁰³⁾。そのため、姿勢を維持するための必要な筋活動を増加させると、筋疲労や痛みにつながる可能性がある。スマートフォン使用時の不良姿勢の習慣化は腰部体幹筋の活動亢進による筋筋膜性腰痛につながる可能性がある。

良姿勢を保持するために重要とされる僧帽筋中部線維の筋活動は良姿勢と不良姿勢の間に有意な差を認めなかった。僧帽筋中部線維の起始部は第 1 から第 4 胸椎棘突起であり、停止部は肩峰や肩甲棘である^(43,46)。菱形筋の起始部は第 1 から第 4 胸椎棘突起であり、停止部は肩甲骨内側縁である^(43,46)。菱形筋は肩甲骨内側縁に付着しているため、肩甲骨を胸郭上に保持しながら肩甲骨後退位を維持する機能を有している。この起始部と停止部の差異は肩甲骨後退トルクを生成する僧帽筋中部線維のモーメントアームが菱形筋よりも大きいことを示している。動的な肩甲骨後退運動が必要な場合は高い僧帽筋中部線維の筋活動が求められると考えられる。しかし、本課題の良姿勢はそのような動的な運動ではなかった。そのため、良姿勢を保持するために菱形筋を活動させる必要性は高かった一方、僧帽筋中部線維を活動させる必要性は低かったと考えられる。このことから、僧帽筋中部線維の筋活動は良姿勢を保持するためには重要ではないことが示唆される。

本課題はいくつかの限界点がある。第 1 に、各姿勢の姿勢角度は矢状面のみの測定であり、肩甲骨のアライメントを前額面および水平面で評価を行っている

ない。第 2 に、頸椎、胸椎、肩甲骨の可動域や身体の質量中心を測定していない。これらの項目が各姿勢の筋活動に影響を与えていた可能性がある。

5. まとめ

不良姿勢は良姿勢に比べ菱形筋および僧帽筋下部線維の活動低下と腰部脊柱起立筋および腰部多裂筋の活動亢進と関連していることが示された。

[課題 1-3] 多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズ時の筋活動解析

1. 目的

本課題の目的は多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズ時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋の筋活動を明らかにすることである。

2. 対象および方法

2-1. 対象者

健常男性 16 名（年齢 21 ± 1 歳、身長 171.6 ± 5.8 cm、体重 67.4 ± 9.9 kg）を対象とした。本課題は本学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」で承認され、対象者の安全や権利に配慮し、実施された（承認番号：2016-019）。

2-2. 筋活動計測



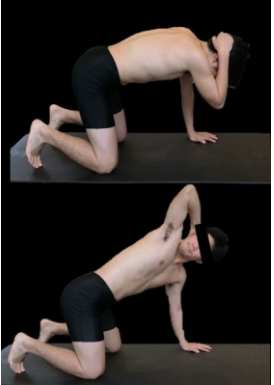
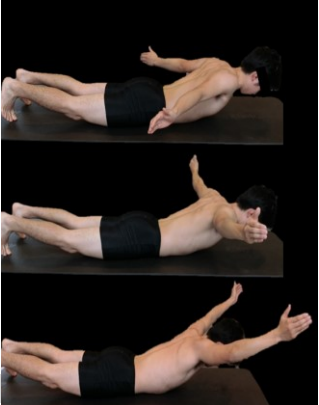
本課題において、使用した機材や設定、対象筋（菱形筋、僧帽筋上部線維、中部線維、下部線維、前鋸筋）は課題 1-1 第 2 節第 2 項と同様であった。

2-3. エクササイズ試技

本課題で実施した肩甲骨周囲筋エクササイズ試技の詳細を表 3 に示す。対象者は 5 つの肩甲骨周囲筋エクササイズをランダムな順序で行った。各エクササイズの筋活動計測に先立ち、エクササイズに関する詳細な指示と口頭でのフィードバックを各対象者に与え、エクササイズを適切な動作で行えるように指導した。また、筋活動計測時に適切なエクササイズ動作を確認した。各エクササイズ試技を 5 回行い、ハイスピードカメラ（EXLIM EX-100、CASIO 社製）を用いて側方から 120Hz で撮影した。エクササイズ試技の間に 1 分以上の休息时间

を設けた。エクササイズを開始から終了までの3秒間は60拍/秒に設定したメトロノームで統制された。

表 3. エクササイズ試技の詳細

エクササイズ	説明
<p data-bbox="475 591 619 620">Cat & Dog</p> 	<p data-bbox="724 660 1193 719">四つ這い位にて肩甲骨最大前方突出位から胸椎伸展と肩甲骨後退運動を行う</p>
<p data-bbox="437 815 651 873">Cat & Dog scapular protraction</p> 	<p data-bbox="724 920 1193 978">四つ這い位にて肩甲骨最大後退位から胸椎屈曲と肩甲骨前方突出運動を行う</p>
<p data-bbox="459 1055 619 1084">Trunk Rotation</p> 	<p data-bbox="724 1256 1193 1314">四つ這い位にて手掌を後頭部に置き、体幹回旋と肩甲骨後退運動を行う</p>
	<p data-bbox="724 1682 1193 1776">腹臥位にて45°(A)、90°(T)、135°(Y)肩関節外転位で胸椎伸展・肩甲骨後退・上肢挙上運動を行う</p>

2-4. データ解析

本課題におけるデータ解析は課題 1-1 第 2 節第 4 項と同様であった。解析区間は各エクササイズの開始から終了までの 3 秒間とした。各エクササイズの筋活動の代表値は、各エクササイズの 5 回のうち中間 3 回の平均値とした。また、筋活動量の大きさの分類として、筋活動の値を Low, < 20%MVIC; Moderate, 20-50%MVIC; High, > 50%MVIC の 3 群に分類した^(72,104)。さらに、菱形筋(Rhom)、僧帽筋中部線維(MT)、僧帽筋下部線維(LT)、および前鋸筋(SA)の筋活動を僧帽筋上部線維(UT)の筋活動で除し、Rhom/UT、MT/UT、LT/UT、および SA/UT の筋活動比を算出した。これらは値が大きいほど UT 筋活動が抑制され、各筋の筋活動が高値を示していることを意味する。

2-5. 統計解析

統計解析は SPSS version 26.0 (IBM 社製) を用いて行った。エクササイズ試技における各筋の筋活動と筋活動比を比較するために 1 元配置分散分析を行った。Cat & Dog では、肩甲骨後退を伴う Cat & Dog Scapular retraction と肩甲骨前方突出を伴う Cat & Dog Scapular protraction に分けて統計解析を行った。そのため、前鋸筋の筋活動比較では肩甲骨前方突出を伴う Cat & Dog Scapular protraction を扱い、菱形筋、僧帽筋上部、中部、下部線維の筋活動比較では肩甲骨後退を伴う Cat & Dog Scapular retraction を扱った。分散分析で有意な主効果を認めた場合、事後検定は Tukey 法を用いた。各エクササイズの筋活動量と筋活動比の差の大きさを表すために 1 元配置分散分析の効果量 η^2 を算出し、 η^2 の値が 0.01 以上 0.06 未満を小、0.06 以上 0.14 未満を中、0.14 以上を大と定義した⁽⁸⁷⁾。有意水準は 5%とした。

3. 結果

エクササイズ的全筋活動と筋活動比を表4に示す。菱形筋はA exercise (54.2 ± 23.7% MVIC) において最も高値を示した。菱形筋においてエクササイズ試行による有意な主効果を認めなかった ($F_{4,75}=2.49$, $p=0.25$, $\eta^2=0.072$)。僧帽筋上部線維はCat & Dog scapular retraction (13.1 ± 9.3% MVIC) において最も低値を示した。僧帽筋上部線維においてエクササイズ試行による有意な主効果を認め ($F_{4,75}=8.15$, $p<0.01$, $\eta^2=0.434$)、Cat & Dog scapular retraction はA exercise (35.2 ± 21.8% MVIC)、T exercise (35.5 ± 16.9% MVIC)、Y exercise (53.9 ± 31.2%) に比べ有意に低値を示した (それぞれ $p<0.05$ 、 $p<0.05$ 、 $p<0.01$)。僧帽筋中部線維はT exercise (46.7 ± 28.7% MVIC) において最も高値を示した。僧帽筋中部線維においてエクササイズ試行による有意な主効果を認め ($F_{4,75}=5.23$, $p<0.01$, $\eta^2=0.278$)、Cat & Dog scapular retraction (16.6 ± 11.0% MVIC) に比べT exercise が有意に高値を示した ($p<0.01$)。僧帽筋下部線維はY exercise (63.2 ± 40.1% MVIC) において最も高値を示した。僧帽筋下部線維においてエクササイズ試行による有意な主効果を認め ($F_{4,75}=9.20$, $p<0.01$, $\eta^2=0.490$)、Y exercise と Trunk Rotation (58.0 ± 24.6% MVIC) はCat & Dog scapular retraction (19.6 ± 9.3% MVIC) やA exercise (28.2 ± 14.2% MVIC) に比べ有意に高値を示した (それぞれ、 $p<0.01$)。前鋸筋はCat & Dog scapular protraction (26.7 ± 11.0% MVIC) において最も高値を示した。前鋸筋においてエクササイズ試行による有意な主効果を認め ($F_{4,75}=14.11$, $p<0.01$, $\eta^2=0.752$)、Cat & Dog scapular protraction はTrunk Rotation (9.1 ± 8.0% MVIC)、A exercise (5.4 ± 5.7% MVIC)、T exercise (6.2 ± 6.8% MVIC) に比べ有意に高値を示した (それぞれ、 $p<0.01$)。

Rhom/UT比はCat & Dog scapular retraction において最も高値を示した (5.85 ± 7.98)。Rhom/UT比においてエクササイズ試行による有意な主効果を認め ($F_{4,75}=3.91$, $p<0.01$, $\eta^2=0.172$)、Cat & Dog scapular retraction はT exercise

(1.49 ± 1.10) と Y exercise (1.00 ± 0.80) に比べ有意に高値を示した (それぞれ、 $p < 0.05$, $p < 0.01$)。MT/UT 比と LT/UT 比は Cat & Dog scapular retraction で最も高値を示した (それぞれ 2.32 ± 3.53 , 6.69 ± 17.48)。MT/UT 比 ($F_{4,75} = 1.37$, $p = 0.25$, $\eta^2 = 0.068$) と LT/UT 比 ($F_{4,75} = 1.27$, $p = 0.28$, $\eta^2 = 0.063$) において、エクササイズ試行による有意な主効果を認めなかった。SA/UT 比は Cat & Dog scapular protraction において最も高値を示した (9.64 ± 8.48)。SA/UT 比においてエクササイズ試行による有意な主効果を認め ($F_{4,75} = 18.89$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.501$)、Cat & Dog scapular protraction は Trunk Rotation (0.37 ± 0.25)、A exercise (0.26 ± 0.55)、T exercise (0.26 ± 0.37)、Y exercise (0.58 ± 0.64) に比べ有意に高値を示した (それぞれ、 $p < 0.01$)。

表 4. エクササイズ間の筋活動量と筋活動比の比較

	Cat & Dog	Trunk Rotation	A exercise	T exercise	Y exercise	主効果
筋活動量 (%MVIC)						
Rhom	34.6 ± 16.0	45.7 ± 29.1	54.2 ± 23.7	41.5 ± 23.5	43.4 ± 27.6	$F = 2.49$, $p = 0.25$
UT	13.1 ± 9.3	27.7 ± 17.4	35.2 ± 21.8^a	35.5 ± 16.9^a	53.9 ± 31.2^{ab}	$F = 8.15$, $p = 0.00$
MT	16.6 ± 11.0	43.1 ± 21.1^a	40.0 ± 22.1^a	46.7 ± 28.7^a	43.5 ± 19.5^a	$F = 5.23$, $p = 0.00$
LT	19.6 ± 9.3	58.0 ± 24.6^{ac}	28.2 ± 14.2	40.3 ± 22.9	63.2 ± 40.1^{ac}	$F = 9.20$, $p = 0.00$
SA	$26.7 \pm 11.0^{*,bc,d}$	9.1 ± 8.0	5.4 ± 5.7	6.2 ± 6.8	$25.6 \pm 19.3^{bc,d}$	$F = 14.11$, $p = 0.00$
筋活動比						
Rhom/UT	5.85 ± 7.98^{de}	2.25 ± 1.87	2.45 ± 2.18	1.49 ± 1.10	1.00 ± 0.80	$F = 3.91$, $p = 0.00$
MT/UT	2.32 ± 3.53	1.99 ± 1.25	1.46 ± 0.80	1.66 ± 1.36	0.91 ± 0.40	$F = 1.37$, $p = 0.25$
LT/UT	6.69 ± 17.48	3.20 ± 2.83	1.39 ± 2.08	1.56 ± 1.58	1.48 ± 1.41	$F = 1.27$, $p = 0.28$
SA/UT	$9.64 \pm 8.48^{*,bc,de}$	0.37 ± 0.25	0.26 ± 0.55	0.26 ± 0.37	0.58 ± 0.64	$F = 18.89$, $p = 0.00$

Rhom, rhomboid major; UT, upper trapezius; MT, middle trapezius; LT, lower trapezius; SA, serratus anterior.

* Cat & Dog scapular protraction時の筋活動データ.

^a vs Cat & Dog exercise ($p < 0.05$).

^b vs Trunk Rotation ($p < 0.05$).

^c vs A exercise ($p < 0.05$).

^d vs T exercise ($p < 0.05$).

^e vs Y exercise ($p < 0.05$).

4. 考察

本課題の目的は多関節複合運動を伴う肩甲骨周囲筋エクササイズ時の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋の活動を明らかにすることであった。本研究の主要な所見は以下の通りであった。第 1 に、菱形筋の筋活動はエクササイズ間で類似しており、有意差を認めなかった。第 2 に、僧帽筋下部線維の筋活動は Trunk Rotation と Y exercise において大きかった。最後に、前鋸筋の筋活動は Cat & Dog scapular protraction と Y exercise で大きく、SA/UT 比は Cat & Dog scapular protraction において他のエクササイズに比べ高値であった。

菱形筋の筋活動はエクササイズ間で有意な差を認めなかった。Moseley らと Berckmans らは菱形筋の主な機能は肩甲骨後退であると報告している^(51,52)。肩甲骨後退における肩甲骨外旋は体幹回旋に伴って増加する⁽¹⁰⁵⁾。また、肩甲骨外旋の増加に伴って菱形筋の筋活動が増加したと報告された⁽⁵¹⁾。肢位に着目すると、筋繊維方向と平行な肢位における運動によって筋活動が増加したと報告された^(70,106)。本研究では体幹回旋を要求される Trunk Rotation、運動方向が斜走する菱形筋の筋線維方向に近似する A exercise においてより高い筋活動を示すと予想されたが、エクササイズ間に有意な差を認めなかった。これは本課題の対象者全員が若年健常男性であったことから運動制御機能は正常であり、エクササイズ中に肩甲骨を適切な位置に保持していたため、菱形筋の筋活動は定常的な活動を示す tonic activity を示したことによるものであると考えられる。本課題で実施したすべてのエクササイズは、Moderate (20~50% MVIC) または High (>50% MVIC) の菱形筋の筋活動を示しており、菱形筋を賦活化する上で十分な活動量であることが示唆される。また、Rhom/UT 比は、本課題の T および Y exercise 時に比べ Cat & Dog scapular retraction において高値であった。オーバーヘッドスポーツにおいて適切な肩甲骨運動制御を獲得するために僧帽筋上部線維を抑制した肢位で菱形筋を賦活化させ、その後、僧帽筋中部、下部線維、前

鋸筋と協調してオーバーヘッドスポーツの肢位に近い Y exercise の肢位で菱形筋を段階的に賦活化させていくことが重要であると考えられる。

僧帽筋下部線維の筋活動について、Trunk Rotation や Y exercise は高い肩甲骨上方回旋位または肩関節外転位における肩甲骨後退を行うエクササイズであったため、僧帽筋下部線維の筋活動が高値を示したと考えられる。Yamauchiらは本課題と同様、肩甲骨後退運動中に体幹回旋を付随させることで僧帽筋下部線維の筋活動が増大したと報告している⁽¹⁰⁵⁾。このことから、高い肩関節外転位における肩甲骨後退運動に加え、体幹回旋を伴うことが僧帽筋下部線維の賦活化に有効である可能性が示唆される。前鋸筋の筋活動について、Cat & Dog scapular protraction は肩甲骨前方突出運動を、Y exercise は肩甲骨上方回旋位で行ったことから前鋸筋の筋活動が高値を示したと考えられる。先行研究では、様々なエクササイズ中の僧帽筋下部線維と前鋸筋の筋活動を報告しているものが多い^(70,71)が、オーバーヘッドスポーツ動作の構成要素を考慮したエクササイズ中の肩甲骨周囲筋活動に関する報告は少ない。オーバーヘッドスポーツアスリートは、リハビリテーション後期や予防期に動的かつ複数の関節運動を伴うエクササイズ実施する必要がある⁽²⁷⁾。Trunk Rotation や Y exercise は僧帽筋下部線維の筋活動が High (>50%MVIC)、Cat & Dog scapular protraction や Y exercise は前鋸筋の筋活動が Moderate (20%~50%MVIC)であり、僧帽筋下部線維と前鋸筋を賦活化する上で十分な筋活動であることが示唆された。また、前鋸筋の賦活化に関して、Cat & Dog scapular protraction が僧帽筋上部線維を抑制した上で前鋸筋を賦活化させる際に有効であることが示唆された。

本課題の知見はアスレティックトレーナー、理学療法士、コーチが肩甲骨周囲筋の活動特性に基づいて適切なエクササイズを選択する際に有用になる可能性がある。なお、本課題の限界は課題 1-1 と同様である。

5. まとめ

多関節複合運動を伴う肩甲骨周囲筋エクササイズ時の筋活動を調査した。いずれのエクササイズも菱形筋の賦活化に有効であり、菱形筋はエクササイズ中に肩甲骨の位置を最適化するための tonic activity を示していることが示唆された。また、Trunk Rotation と Y exercise は僧帽筋下部線維の賦活化に有効であり、Cat & Dog scapular protraction は僧帽筋上部線維を抑制した上での前鋸筋の賦活化に有効であることが示された。

第3章 【研究課題2】立位姿勢および投球動作解析

[課題2-1] 立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性

(掲載論文：安達玄，押川智貴，阿久澤弘，金岡恒治．立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性，整形外科スポーツ医学会誌，40(3)，334-338，2020.)

1. 目的

本課題の目的は、立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性を明らかにすることである。本課題の仮説は、立位胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展変化量は正の相関関係を示す、とした。

2. 対象および方法

2-1. 対象者

対象は大学野球選手の健常男性19名(年齢:20 ± 1歳、身長:172.8cm ± 6.5cm、体重:67.1kg ± 4.7kg、野球競技歴:11 ± 3年)であった。対象者の投球側は右投げ15名、左投げ4名であり、ポジションは投手5名、捕手3名、内野手6名、外野手5名であった。対象者の包含基準は投球動作計測時に肩または肘関節および腰部に疼痛がなく、全力投球を行える者とした。本実験は本学の「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施された(2018-142)。対象者へ研究の目的や実施内容、対象者の権利について説明を行った後、本研究参加への同意を得た。

2-2. データ計測手順

立位姿勢および投球動作撮影は実験室内で行われた。撮影は7台の3次元動作解析カメラ(OQUS, Qualisys社製)を用いて200Hzで行った(図19)。ストレッチ

チやキャッチボールなどのウォーミングアップ後、対象者の肩峰、胸骨丙、剣状突起、上腕骨内外側上顆、尺骨茎状突起、橈骨茎状突起、ASIS、PSIS、大腿骨内外側顆、足関節内外果、踵骨隆起、第7頸椎棘突起（C7）、第7胸椎棘突起（Th7）、第12胸椎棘突起（Th12）に直径16mmの赤外線反射マーカ（Qualisys社製）を貼付した（図20）。

立位姿勢撮影はホーソン効果による姿勢の矯正の影響を少なくするために「つま先に3回触れて、腕を体側に位置させていつもと同じように立ってください」と対象者に指示⁽⁶⁷⁾し、立位姿勢を10秒間保持して行った。

投球動作撮影は10m先の投球ネットに向かって、赤外線反射マーカを貼付した野球ボール（軟式ボールA号、MIZUNO社製）を使用して全力投球を5回行った。投球動作時の球速はネット側からスピードガン（スピードスターV、Bushnell社製）を用いて計測し、最も球速の速かった試技を解析対象とした。

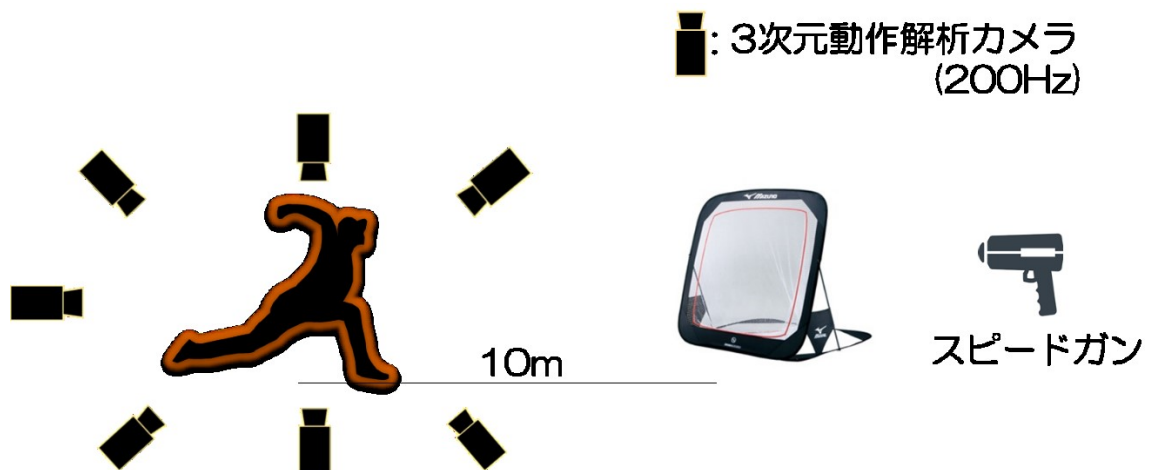


図 19. 実験環境設定

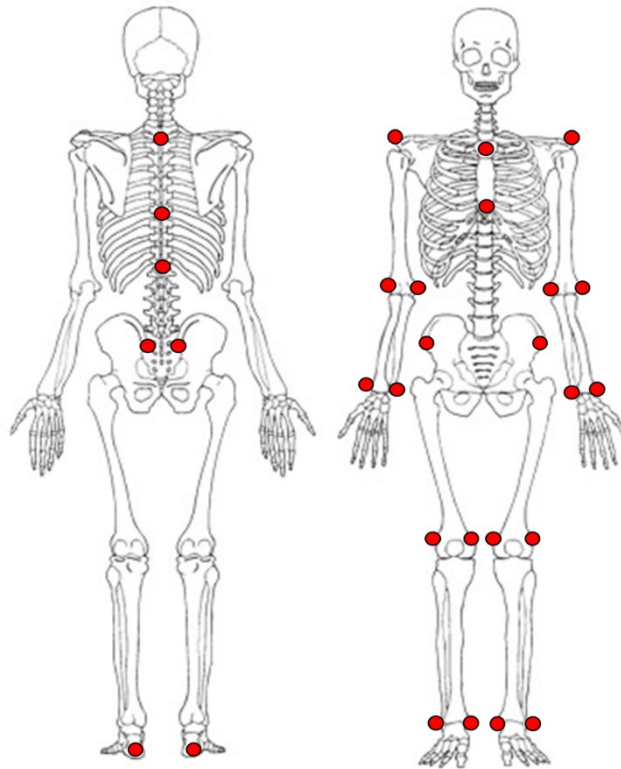


図 20. 反射マーカ貼付位置

2-3. データ分析

Dillmanら⁽⁷⁷⁾の報告にならい、投球動作を以下の5つのフレームに分類して解析した(図21)。投球動作におけるグローブを構えたSet position、踏み込み脚の膝が最大挙上したKnee top、踏み込み脚の足部が地面に接地したFoot contact、肩複合体最大外旋位を示すMER、ボールを投球方向に向かって投射するBall releaseの5つのフレームとした。なお、MERはMiyashitaら⁽⁷⁸⁾の報告に準じて算出した(図22)。

各投球動作フレームの評価項目は胸部屈曲角度と胸部伸展変化量とした。胸部屈曲角度はMiyashitaら⁽⁷⁸⁾やKebaetseら⁽³¹⁾の報告を参考に算出した(図23)。また、胸部伸展変化量はHelenら⁽¹⁰⁷⁾の報告を参考に立位姿勢の胸部屈曲角度から

各投球動作フレームの胸部屈曲角度を減算し、算出した。



図 21. 投球フレーム

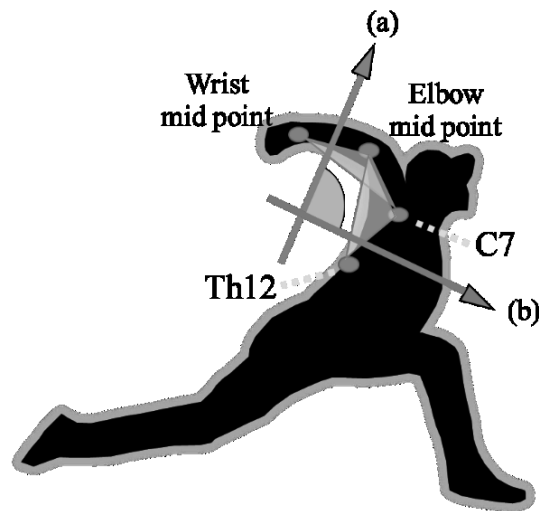


図 22. 肩関節複合体最大外旋位(MER)

橈骨茎状突起および尺骨茎状突起マーカーの midpoint、上腕骨内側上顆および外側上顆マーカーの midpoint、C7 マーカーからなる平面の法線ベクトル(a)と、上腕骨内側上顆および外側上顆マーカーの midpoint、C7、Th12 からなる平面の法線ベクトル(b)を算出した。この 2 つの法線ベクトルの内積を求め、その余弦から角度を算出し、MER と定義した。

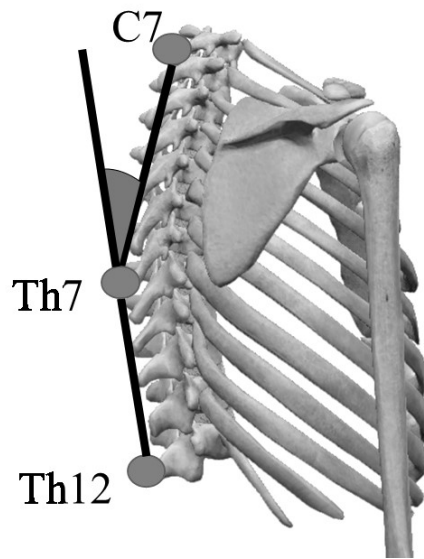


図 23. 胸部屈曲角度

C7 および Th7 マーカーと、Th7 および Th12 マーカーで形成される 2 本のベクトルのなす角を求め、180 度から減じることで算出した。

2-4. 統計解析

統計解析は、立位姿勢の胸部屈曲角度と各投球動作フレーム時の胸部伸展変化量を Pearson の積率相関係数を用いて関連性を検討した。有意水準は 5% とした。

3. 結果

立位姿勢の胸部屈曲角度と各投球動作フレームの胸部伸展変化量の相関を表5に示す。立位姿勢の胸部後弯角度は 21.1 ± 4.5 度であった。胸部伸展変化量はSet position -2.5 ± 3.1 度、Knee top 0.5 ± 3.7 度、Foot contact 0.4 ± 5.2 度、MER 13.3 ± 5.3 度、Ball release 9.5 ± 4.8 度であった（図24）。立位姿勢の胸部屈曲角度はMER ($r=0.65$, $p<0.01$)、Ball release ($r=0.67$, $p<0.01$) 時の胸部伸展変化量と有意な正の相関を認めた一方（図25, 26）、Set position ($r=0.39$, $p=0.09$)、Knee top ($r=0.43$, $p=0.07$)、Foot contact ($r=0.41$, $p=0.07$) 時の胸部伸展変化量と有意な相関を認めなかった。

表 5. 立位姿勢の胸部屈曲角度と各投球動作フレームの胸部伸展変化量の相関

Flame	Set position	Knee top	Foot contact	MER	Ball release
胸部伸展変化量(度)	- 2.5 ± 3.0	0.5 ± 3.7	0.4 ± 5.2	13.3 ± 5.3	9.5 ± 4.8
相関係数(r)	0.399	0.431	0.419	0.653	0.676
p値	0.091	0.066	0.074	0.002	0.001

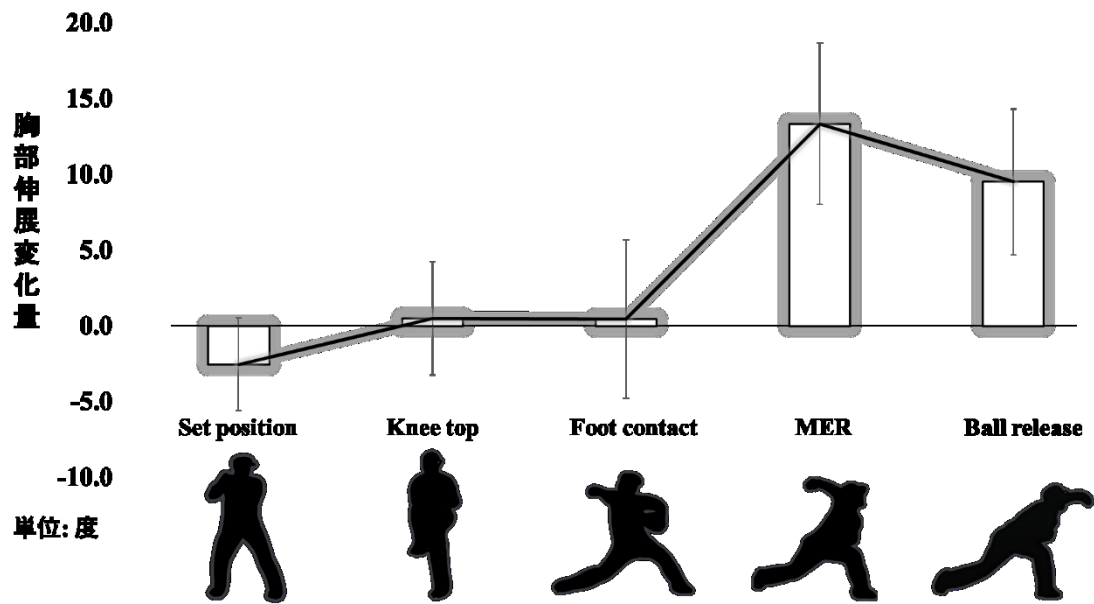


図 24. 各投球動作フレームにおける胸部伸展変化量

Foot contact から MER にかけて胸部伸展変化量は増大し、MER から Ball release にかけて胸部屈曲運動を行っている。

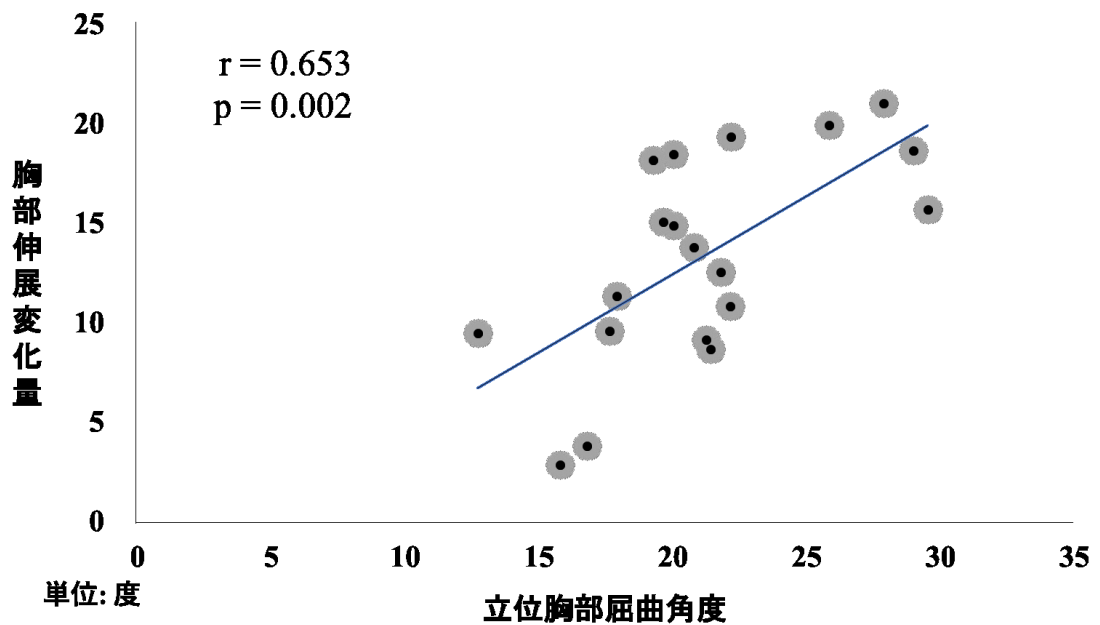


図 25. 立位胸部屈曲角度と MER 時の胸部伸展変化量の相関

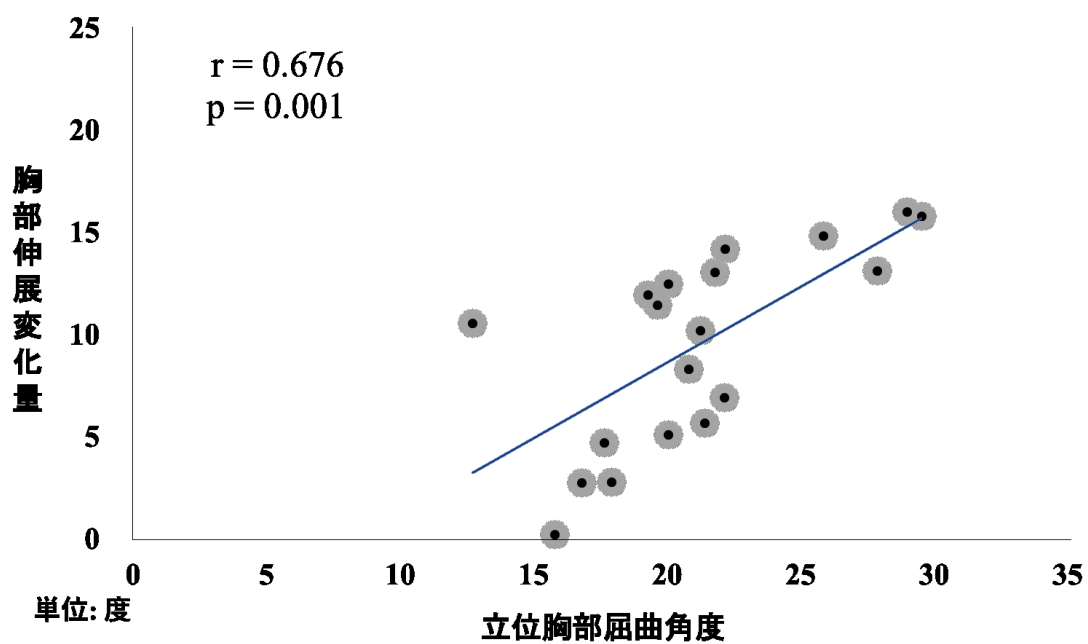


図 26. 立位胸部屈曲角度と Ball release 時の胸部伸展変化量の相関

4. 考察

本課題の目的は、立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性を明らかにすることであった。本研究の結果、立位胸部屈曲角度とMERおよびBall releaseにおける胸部伸展変化量に有意な正の相関を示した。これは立位姿勢における胸部屈曲角度が増加するほど、投球動作のMER, Ball release時に胸部伸展変化量が増加したことを意味する。

投球動作において肩および肘関節に加わる負荷はFoot contact以降に増大する⁽⁷⁶⁾。また、MERは肩甲上腕関節外旋のみならず、胸部伸展や肩甲骨後傾が組み合わさった挙動であり⁽⁷⁸⁾、MERにおける胸部伸展の増大は肩または肘関節への負荷を減少させると報告されている⁽²²⁾。胸部屈曲角度の増大は肩甲骨外旋・後傾運動を制限する^(31,32)。投球動作中の肩甲骨運動が制限されることで、肩甲上腕関節の接触圧が増大し⁽⁶⁴⁾インピンジメントによる肩関節障害が惹起され、遠位関節の肘関節においては外反負荷が増大する⁽⁶³⁾ことで肘関節障害が惹起される。Foot contact以降の胸部伸展は現場で表現される「身体をしならせる」動作を遂行する上で必要であり、障害予防の観点からも重要であると考えられる(図24)。障害予防、改善において立位姿勢に着目した先行研究は頭部前方突出、肩前方突出、胸部屈曲姿勢のような不良姿勢の改善と肩または肘関節障害の改善を報告しており、不良姿勢の改善を推奨している^(11,67)。

しかし、いずれの先行研究も立位姿勢の変化に着目しており、野球における実際の投球動作時に要求される胸部伸展動作との関連は明らかではなかった。前述のように、動作中に観察されるダイナミックアライメントは、常に立位姿勢のようなスタティックアライメントを反映するとは限らない⁽⁸¹⁾。そこで我々は、立位胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展変化量は正の相関関係を示す、という仮説を立てた。本課題の結果は立位胸部屈曲角度が増加するほど、投球動作のMER, Ball release時の胸部伸展変化量が増加していた(図25,26)。この結果は投

球による肩または肘関節障害予防において、立位姿勢における胸部屈曲角度の評価のみならず、実際の投球動作における胸部伸展の評価を合わせて検討することの重要性を示唆する。仮に立位姿勢の胸部屈曲角度は増加を認め、同時に投球動作時のMER, Ball releaseにおける胸部伸展変化量は減少を認める場合、投球による肩または肘関節への負荷が増大し投球障害発症リスクが高くなる可能性がある。そのため、野球選手はFoot contact以降の胸部伸展を確保するための胸筋群や腹筋群の柔軟性、肩甲骨周囲筋、体幹筋機能が投球障害予防に重要であると考えられる。

本研究の限界は3点ある。1点目は健常な男性大学野球選手を対象としたことである。本研究の結果は女性野球選手やその他の年代の野球選手、肩または肘関節障害を有する野球選手では異なる可能性がある。2点目は皮膚上における胸部屈曲角度の計測であったことである。皮膚上から反射マーカ―を貼付し、胸部屈曲角度を計測したため、投球動作中の筋の膨隆や皮膚の牽引により反射マーカ―の座標値に誤差が生じた可能性がある。詳細な胸部屈曲角度の計測には矢状面X線画像が有効であると考えられるが、投球動作時におけるX線撮影は困難であるため、本研究の目的を達成する上で3次元動作解析装置による検討は妥当であったと考える。3点目は、連続投球による影響を考慮しなかったことである。本研究は全力投球を5球行ったが、連続投球により投球動作時の胸部伸展変化量は変化する可能性がある。

5. まとめ

立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性を検討した。立位胸部屈曲角度と投球動作のMER, Ball release時の胸部伸展変化量に正の相関関係を認めた。本結果より、立位姿勢の胸部屈曲角度のみならず、実際の投球動作における胸部伸展の評価を合わせて検討する重要性が示唆された。

[課題 2-2] 立位姿勢の胸部屈曲角度および投球時の胸部伸展挙動変化 一肩甲骨周囲筋エクササイズを介入して—

1. 目的

本課題の目的は、多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズ介入が立位姿勢の胸部屈曲角度および投球時の胸部伸展に与える影響を明らかにすることである。

2. 対象および方法

2-1. 対象者

本課題の対象者は課題 2-1 と同様であり、総勢 19 名であった。対象者 19 名をランダムに介入群 (=10 名:年齢 20 ± 2 歳、身長 171.9 ± 6.7 cm、体重 66.2 ± 4.0 kg、競技歴 11 ± 2 年)と非介入群 (=10 名:年齢 21 ± 1 歳、身長 173.9 ± 6.1 cm、体重 68.0 ± 5.1 kg、競技歴 10 ± 3 年)に群分けした。なお、各群における年齢をはじめとする各項目に統計学的な有意な差を認めなかった (図 27)。

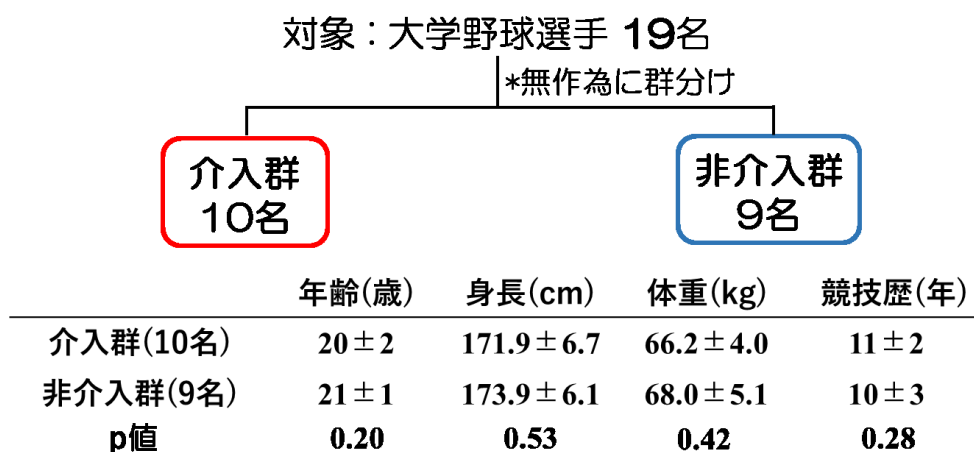


図 27. 各群の対象者属性

2-2. データ計測手順およびデータ分析

本課題のプロトコルを図 28 に示す。Pre 測定にて姿勢、筋力、投球動作計測を行った。Post 測定までの期間において非介入群は通常の練習のみを行い、介入群は通常の練習に加え、肩甲骨周囲筋エクササイズを 6 週間行った。なお、この期間は練習や他のトレーニングの制限を設けなかった。立位姿勢における胸部屈曲角度、投球動作計測は課題 2-1 第 2 節第 2 項および第 3 項と同様の方法を用いた。本課題における胸部伸展変化量について、課題 2-1 で最も変化量が大きかった MER 時のみ検討した。また、胸部伸展変化量は Pre 計測における立位姿勢の胸部屈曲角度を基準とし、Pre 計測および Post 計測 MER 時の胸部屈曲角度を減じることで算出した。筋力計測について、等尺性筋力計ミュータス（アニマ社製）を用いて菱形筋、僧帽筋中部線維、僧帽筋下部線維、前鋸筋の筋力（単位：N）を計測した。計測方法は課題 1-1 の MVIC 計測実施時と同様であった。筋力は対象者の体重で除して標準化した。

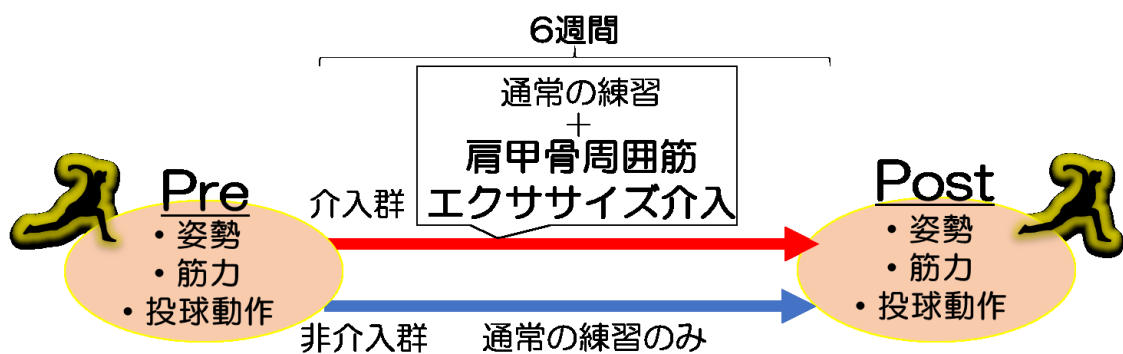


図 28. 研究プロトコル

2-3. 肩甲骨周囲筋エクササイズ介入

介入群に対して図 29 に示す肩甲骨周囲筋エクササイズを介入した。すべてのエクササイズは 20 分程度のオリエンテーションを通して指導された。対象者に正確な実施方法を確認できるようにするために、実施方法を対象者のスマートフォンを用いて撮影した。介入エクササイズは週あたり 3 回実施し、実施状況は Google Form を用いて管理した。なお、左右非対称のエクササイズに関しては左右両側行うよう指導した。

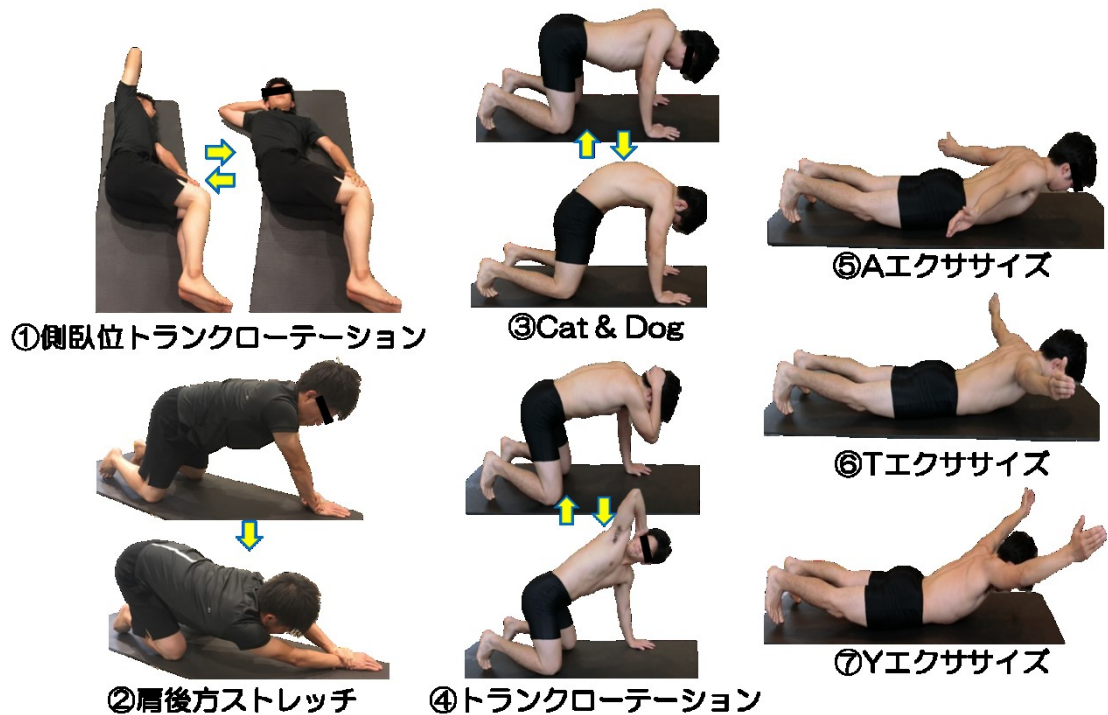


図 29. 介入した肩甲骨周囲筋エクササイズ

- ①側臥位トランクローテーション；10回3セット；側臥位股関節屈曲90度および膝関節屈曲90度位にて大腿遠位部を把持し、肩甲骨後退および体幹回旋を行い、最大可動域で3秒保持し、胸筋群を伸長させる。
- ②肩後方ストレッチ；20秒保持3セット；四つ這い位にて上肢遠位部を把持し、後方および側方に体重をかけることで肩後方部および広背筋を伸長させる。
- ③Cat & Dog；10回3セット；四つ這い位にて胸椎伸展と肩甲骨後退、胸椎屈曲と肩甲骨前方突出を協調的に行う。
- ④トランクローテーション；10回3セット；四つ這い位にて骨盤回旋を体幹筋を賦活化させることで制御した状態で胸椎回旋と肩甲骨後退を協調的に行う。
- ⑤～⑦；A・T・Yエクササイズ；腹臥位にて胸椎伸展、肩甲骨後退、上肢挙上を協調的に行う。肩関節外転角度はそれぞれ45度、90度、135度とした。

2-4. 統計解析

統計解析は SPSS version 26.0 (IBM 社製) を用いて実施された。群 (介入、非介入) と時間 (Pre、Post) の 2 要因による 2 元配置分散分析を用いて、胸部屈曲角度、筋力、MER 時の胸部伸展変化量を比較した。有意な交互作用を認められた場合、各要因の単純主効果を検討した。事後検定は Bonferroni 法を用いた。効果量 $\text{partial } \eta^2$ の定義は課題 1-1 第 2 節第 5 項と同様であった。また、MER 胸部伸展変化量において、対象者内の試行間信頼性を検討するために解析対象試技を含めた 3 回の計測値の級内相関係数 (ICC) を算出した。有意水準は 5% とした。

3. 結果

3-1. 立位姿勢

各群における Pre および Post の立位姿勢の胸部屈曲角度を図 30 に示す。介入群は Pre 20.5 ± 5.1 度、Post 16.5 ± 8.7 度であった。非介入群は Pre 21.8 ± 3.7 度、Post 22.2 ± 3.4 度であった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{1,17}=4.29, p=0.054, \text{partial } \eta^2=0.202$)、群 ($F_{1,17}=2.08, p=0.16, \text{partial } \eta^2=0.109$) および時間 ($F_{1,17}=3.00, p=0.10, \text{partial } \eta^2=0.150$) による有意な主効果を認めなかった。

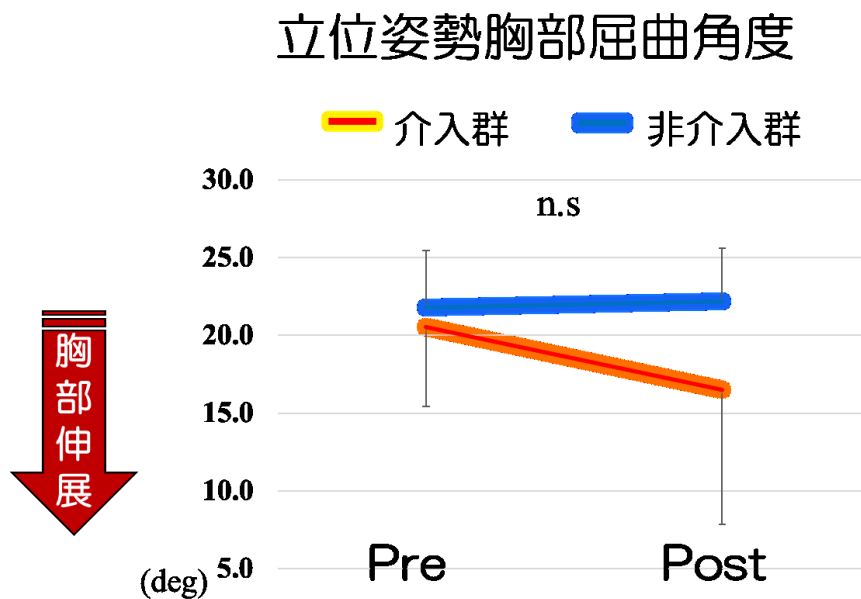


図 30. 各群の Pre および Post 時の立位姿勢胸部屈曲角度

3-2. 投球動作

胸部伸展変化量の試行間信頼性を検討した結果、ICC(1,3)は Pre 0.90、Post 0.93 と高値を示した。

各群における Pre および Post の MER 時の胸部伸展変化量を図 31 に示す。介入群は Pre 12.6 ± 5.8 度、Post 14.8 ± 3.6 度であった。非介入群は Pre 14.1 ± 4.8 度、Post 11.8 ± 5.7 度であった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めたため ($F_{1,17}=8.20$, $p<0.05$, $\text{partial } \eta^2=0.325$)、各要因の単純主効果を検討した。検討の結果、群における時間に関する有意な単純主効果の傾向を示した (介入群 : $F_{1,17}=4.24$, $p=0.055$, $\text{partial } \eta^2=0.200$ 、非介入群 : $F_{1,17}=3.96$, $p=0.063$, $\text{partial } \eta^2=0.189$)。多重比較検定の結果、介入群は Pre に対して Post において胸部伸展変化量の有意な増大傾向を認めた一方 ($p=0.055$)、非介入群は胸部伸展変化量の有意な減少傾向を認めた ($p=0.063$)。

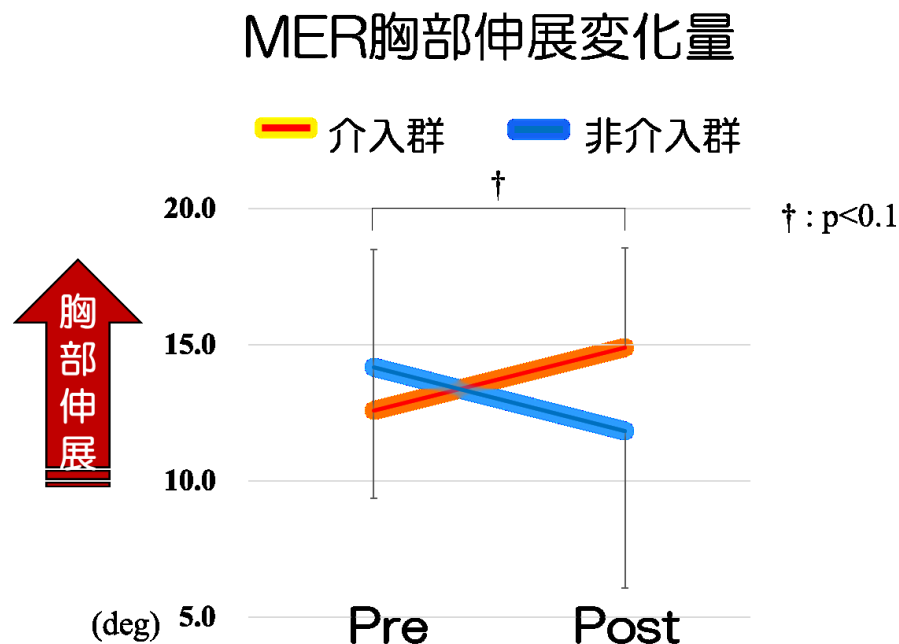


図 31. 各群の Pre および Post 時の MER 胸部伸展変化量

3-3. 筋力

各群における Pre および Post の各筋の等尺性筋力を図 32 に示す。前鋸筋について、介入群は Pre $2.7 \pm 0.4\text{N/kg}$ 、Post $3.1 \pm 0.3\text{N/kg}$ であった。非介入群は Pre $3.0 \pm 0.3\text{N/kg}$ 、Post $3.0 \pm 0.4\text{N/kg}$ であった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{1,17}=4.05$, $p=0.06$, $\text{partial } \eta^2=0.193$)、群 ($F_{1,17}=0.53$, $p=0.47$, $\text{partial } \eta^2=0.030$) および時間 ($F_{1,17}=2.00$, $p=0.17$, $\text{partial } \eta^2=0.106$) による有意な主効果を認めなかった。

僧帽筋中部線維について、介入群は Pre $2.4 \pm 0.4\text{N/kg}$ 、Post $2.5 \pm 0.3\text{N/kg}$ であった。非介入群は Pre $2.4 \pm 0.2\text{N/kg}$ 、Post $2.5 \pm 0.4\text{N/kg}$ であった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{1,17}=0.01$, $p=0.92$, $\text{partial } \eta^2=0.001$)、群 ($F_{1,17}=0.01$, $p=0.89$, $\text{partial } \eta^2=0.001$) および時間 ($F_{1,17}=2.83$, $p=0.11$, $\text{partial } \eta^2=0.143$) による有意な主効果を認めなかった。

僧帽筋下部線維について、介入群は Pre $2.1 \pm 0.3\text{N/kg}$ 、Post $2.5 \pm 0.3\text{N/kg}$ であった。非介入群は Pre $2.3 \pm 0.2\text{N/kg}$ 、Post $2.2 \pm 0.4\text{N/kg}$ であった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めたため ($F_{1,17}=6.58$, $p<0.05$, $\text{partial } \eta^2=0.279$)、各要因の単純主効果を検討した。検討の結果、介入群における時間に関する有意な単純主効果を認めた ($F_{1,17}=8.75$, $p<0.01$, $\text{partial } \eta^2=0.340$)。多重比較検定の結果、介入群は Pre に対して Post において僧帽筋下部線維の等尺性筋力の有意な増大を認めた ($p<0.01$)。

菱形筋について、介入群は Pre $2.7 \pm 0.6\text{N/kg}$ 、Post $3.0 \pm 0.6\text{N/kg}$ であった。非介入群は Pre $2.7 \pm 0.4\text{N/kg}$ 、Post $2.7 \pm 0.5\text{N/kg}$ であった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用を認めず ($F_{1,17}=1.91$, $p=0.18$, $\text{partial } \eta^2=0.101$)、群 ($F_{1,17}=0.41$, $p=0.52$, $\text{partial } \eta^2=0.024$) および時間 ($F_{1,17}=3.11$, $p=0.09$, $\text{partial } \eta^2=0.155$) による有意な主効果を認めなかった。

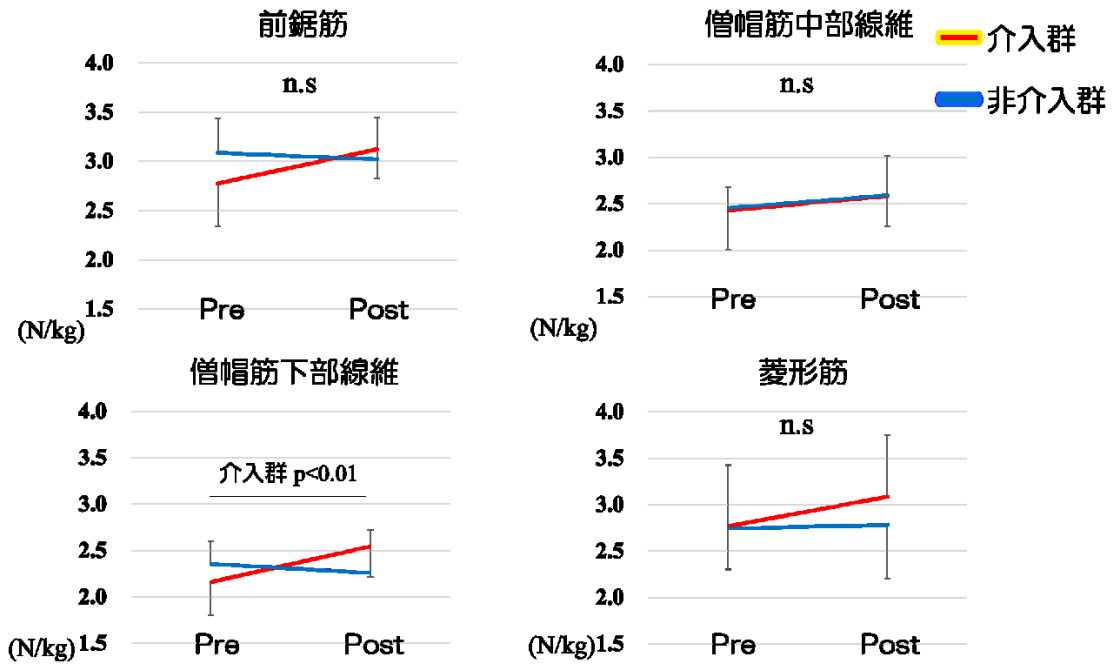


図 32. 各群における Pre および Post の等尺性筋力

4. 考察

本課題の目的は、多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズ介入が立位姿勢の胸部屈曲角度および投球時の胸部伸展に与える影響を明らかにすることであった。本課題の結果、介入群において Pre と Post 間で立位姿勢の胸部屈曲角度に変化を認めなかった一方、投球動作の MER 時の胸部伸展変化量は増大傾向を示した。

小胸筋の短縮は肩甲骨の後傾および外旋を制限し、肩前方突出姿勢を誘発すると考えられている⁽⁶²⁾。また、肩後方部の筋のタイトネス増大は肩前方突出姿勢と関連があるとされる⁽¹⁰⁸⁾。介入したストレッチ2種はそれぞれ、大胸筋および小胸筋、肩後方部の三角筋後部線維や大円筋、広背筋を伸長させるものであった。ストレッチの介入により大胸筋および小胸筋、肩後方部の三角筋後部線維や大円筋の柔軟性が改善したと推察される。介入した肩甲骨周囲筋エクササイズは胸椎伸展と屈曲および回旋と肩甲骨後退と前方突出を組み合わせた複合的なものであった。オーバーヘッドスポーツ選手の予防期において、競技動作の構成要素を含めたエクササイズを実施することが重要である⁽²⁷⁾。胸筋群と肩後方部の筋の柔軟性の改善、肩甲骨後退筋である僧帽筋下部線維の筋力の増大、胸椎と肩甲骨の挙動の協調性の改善による結果として、介入群のMER時の胸部伸展変化量が増大したと考えられる。前述のように胸部伸展は投球動作において重要であり、特にMER時に胸部伸展が要求される^(78,109)。MER時の胸部伸展の増大は肩甲骨の後傾や外旋挙動が増大に寄与し、肩甲上腕関節や肘関節に加わる負荷が減少すると期待される。多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズは投球に関連する肩および肘関節傷害の予防に有効な可能性がある。

本研究の限界は課題2-1と同様である点に加え3点ある。1点目は練習や他のトレーニングの制限を設けなかったことである。そのため、対象者によって介入効果に差が生じた可能性がある。2点目はサンプルサイズが小さく、また介入期間

が6週間と短中期であったことである。今後は対象者数を増やし、中長期の介入が投球動作にどのような変化を与えるか、また実際の傷害予防に効果的であることを疫学的に示す必要がある。3点目は対象者がすべて全力投球可能な健常男性大学野球選手であったことである。Miyashitaらは健常な男性大学野球選手におけるMER時の胸部伸展は平均値8.9度であったと報告した⁽⁷⁸⁾。本課題においてPreにおける介入群の胸部伸展変化量は12.6度、非介入群は14.1度と先行研究よりもやや高い値であった。そのため、肩甲骨周囲筋エクササイズ介入による変化の大きさが小さかった可能性がある。今後は胸部伸展挙動が小さいと予想される肩および肘関節障害を有した対象者に同様の介入を実施し、変化の大きさを検討する必要がある。

5. まとめ

多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズ介入が立位姿勢の胸部屈曲角度および投球時の胸部伸展に与える影響を検討した。介入群においてPreとPost間で立位姿勢の胸部屈曲角度に変化を認めなかった一方、投球動作のMER時の胸部伸展変化量は増大傾向を示した。本結果より、多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズは投球に関連する肩および肘関節傷害の予防に有効であることが示唆された。

第4章 総合考察

課題1の菱形筋を含む肩甲骨周囲筋活動解析において、上肢挙上および下降運動時(課題1-1)、姿勢保持時(課題1-2)、多関節複合運動を用いた肩甲骨周囲筋エクササイズ時(課題1-3)の筋活動を検討した。課題1-1、課題1-2の結果から菱形筋はオーバーヘッド動作において前鋸筋と協調的に活動し、良姿勢保持において僧帽筋下部線維とともに活動を求められた。先行研究においてオーバーヘッドスポーツ動作^(29,40,41,42)や姿勢制御^(97,98,99)において菱形筋は重要と考えられているが、筋活動を定量化して言及した研究はない。課題1-1および課題1-2から菱形筋はオーバーヘッド動作の肩甲骨の運動制御と良姿勢を保持する姿勢制御において重要であることが示唆される。課題1-3において検討した多関節複合運動を用いたエクササイズはいずれも菱形筋の賦活化に有効であり、菱形筋は変化の少ない定常的な筋活動を示したことからエクササイズ中に肩甲骨の位置を最適化するための tonic activity を示すことが示唆される。エクササイズ実施による菱形筋の賦活化はオーバーヘッドアスリートのオーバーヘッドスポーツ動作時の肩甲骨の適切な運動制御、姿勢制御の獲得に貢献することで肩および肘関節傷害の治療や予防に役立つ可能性があると考えられる。また菱形筋と機能的に類似するとされると僧帽筋中部線維について、上肢挙上および下降運動時は10%MVICに満たず、姿勢保持においても不良姿勢1.3%MVIC、良姿勢1.6%MVICと活動的ではなかった。一方、課題1-3の肩甲骨後退を要求されるエクササイズ試技においては16.6から46.7%MVICを示した。以上より、菱形筋は肩甲骨後退に加え、前述のように前鋸筋と協調的な活動をすることで過度な上方回旋の制御と肩甲骨内側縁の制御に貢献している可能性がある一方、僧帽筋中部線維は主として肩甲骨後退に貢献していると考えられ、両筋は機能的差異があることが示唆される。

課題2の立位姿勢および投球動作解析において、立位姿勢の胸部屈曲角度と

投球動作時の胸部伸展の関連性（課題 2-1）、肩甲骨周囲筋エクササイズ介入が立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展に与える影響（課題 2-2）を検討した。課題 2-1 において立位胸部屈曲角度と投球動作の MER, Ball release 時の胸部伸展変化量に正の相関関係を認めた。また、課題 2-2 において介入群は Pre と Post 間で立位姿勢の胸部屈曲角度に変化を認めなかった一方、投球動作の MER 時の胸部伸展変化量は増大傾向を示した。課題 2-1 および課題 2-2 より、立位姿勢の胸部屈曲角度のみならず、実際の投球動作における胸部伸展の評価を合わせて検討する重要性、多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズは投球に関連する肩および肘関節傷害の予防に有効であることが示唆される。

第 5 章 まとめ

- ・上肢挙上および下降運動において、菱形筋は前鋸筋と協調的な活動を示した。
- ・菱形筋は肩甲骨後退に加え、前鋸筋と協調的な活動をすることで過度な上方回旋の制御と肩甲骨内側縁の制御に貢献している可能性がある一方、僧帽筋中部線維は主として肩甲骨後退に貢献していることが示唆された。
- ・不良姿勢は良姿勢に比べ菱形筋および僧帽筋下部線維の活動低下と腰部脊柱起立筋および腰部多裂筋の活動亢進と関連していることが示された。
- ・多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズはいずれのエクササイズも菱形筋の賦活化に有効であり、菱形筋はエクササイズ中に肩甲骨の位置を最適化するための tonic activity を示していることが示唆された。
- ・立位姿勢の胸部屈曲角度は投球動作の MER 時、Ball release 時の胸部伸展と正の相関を示した。
- ・多関節複合運動による肩甲骨周囲筋エクササイズ介入は立位姿勢の胸部屈曲角度に変化を与えなかった一方、投球動作における MER 時の胸部伸展の増大に寄与した。

謝辞

博士論文の執筆を終え、筆を置くにあたり、ご指導いただいた方々、ご協力いただいた方々に心より感謝申し上げます。

早稲田大学スポーツ科学学術院、金岡恒治教授には修士課程 1 年時から博士論文を書き終えるまでの 6 年間にわたりご指導いただき、深謝いたします。研究のみならず、臨床的な視点や一人間としての教育を熱心にしていただき、多くを学ばせていただきました。先生からいただいた視点や考えを今後の研究と臨床、様々な仕事で存分に活かして参ります。早稲田大学スポーツ科学学術院、鳥居俊教授、広瀬統一教授には快く副査を引き受けていただき、また学部時代から多くのご指導をいただきましたことに心より感謝申し上げます。先生方のように研究や現場にとどまらず、多くのフィールドで活躍できる人材を目指して研鑽を重ねて参ります。早稲田大学スポーツ科学学術院助教の阿久澤弘先生には修士 1 年時からワイヤ筋電研究や論文のご指導をいただき、深謝いたします。先生の献身的なご姿勢から多くを学ばせていただきました。先生のような臨床と研究に加え、教育と英語ができる人材になれるよう精進します。

本研究の実験の実施や論文執筆にあたり、多くのご助言をくださいました埼玉医科大学の大久保雄先生に感謝いたします。先生との研究のディスカッションが研究の楽しさをより一層引き立ててくれました。今後の研究活動においても宜しく願い申し上げます。本研究にとどまらず大学野球部時代から多くを共にしてきた押川智貴さんに感謝申し上げます。気づけば 9 年が経ち、多くの体験と経験をともに積んでこられたことは私の財産です。今後も一緒に面白いことを、そして多くの人に貢献する活動をしていきたいと思います。金岡研究室の皆さまには日ごろの抄読会や研究活動において大変お世話になりました。皆さまと様々な時間を共有させていただき、多くを学ばせていただいたことを今後活かして参ります。

博士論文執筆に際し、お心遣いと応援をしてくださった、ベースボール&スポーツクリニックの馬見塚尚孝先生をはじめ、スタッフの皆さまに感謝申し上げます。皆さまのおかげで臨床的視点や研究的視点が格段に広がりました。選手や患者さんを診る上で、整形外科分野にとどまらず、多角的な目を持ち、スポーツ医科学の専門家として一人ひとりに向き合っていく姿勢を今後も大切にしていきます。

最後になりますが、いつも励まし、支えてくれた家族に感謝の意を表します。中学生のときに「ここで学びたい!」と心に決めた早稲田大学で部活動や学問、研究に没頭できたこの10年間は私にとって素晴らしく幸せな時間であり、一生の財産になりました。これは家族の支えと励ましなくしてあり得ませんでした。一生をかけて恩返ししていきます。この10年間で得られた学びを礎に、今後の人生において多くの人々の力になれるよう、進取の精神を忘れずに邁進して参ります。

2020年10月26日

安達 玄

参考文献

1. Laudner, K.; Sipes, R., The incidence of shoulder injury among collegiate overhead athletes. *Journal of Intercollegiate Sport* **2009**, *2* (2), 260-268.
2. Takagishi, K.; Matsuura, T.; Masatomi, T.; Chosa, E.; Tajika, T.; Iwama, T.; Watanabe, M.; Otani, T.; Inagaki, K.; Ikegami, H.; Aoki, M.; Okuwaki, T.; Kameyama, Y.; Akira, M.; Kaneoka, K.; Sakamoto, M.; Beppu, M., Shoulder and elbow pain in junior high school baseball players: Results of a nationwide survey. *J. Orthop. Sci.* **2019**, *24* (4), 708-714.
3. Saper, M. G.; Pierpoint, L. A.; Liu, W.; Comstock, R. D.; Polousky, J. D.; Andrews, J. R., Epidemiology of Shoulder and Elbow Injuries Among United States High School Baseball Players School Years 2005-2006 Through 2014-2015. *Am. J. Sports Med.* **2018**, *46* (1), 37-43.
4. DeFroda, S. F.; Goodman, A. D.; Gil, J. A.; Owens, B. D., Epidemiology of Elbow Ulnar Collateral Ligament Injuries Among Baseball Players: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance Program, 2009-2010 Through 2013-2014. *Am. J. Sports Med.* **2018**, *46* (9), 2142-2147.
5. Takagishi, K.; Matsuura, T.; Masatomi, T.; Chosa, E.; Tajika, T.; Watanabe, M.; Iwama, T.; Otani, T.; Inagaki, K.; Ikegami, H.; Aoki, M.; Kato, K.; Okuwaki, T.; Sairyō, K.; Kameyama, Y.; Maeda, A.; Beppu, M., Shoulder and elbow pain in elementary school baseball players: The results from a nation-wide survey in Japan. *J. Orthop. Sci.* **2017**, *22* (4), 682-686.
6. Matsuura, T.; Suzue, N.; Iwame, T.; Arisawa, K.; Fukuta, S.; Sairyō, K., Epidemiology of shoulder and elbow pain in youth baseball players. *Phys. Sportsmed.* **2016**, *44* (2), 97-100.
7. Posner, M.; Cameron, K. L.; Wolf, J. M.; Belmont, P. J., Jr.; Owens, B.

D., Epidemiology of Major League Baseball injuries. *Am. J. Sports Med.* **2011**, *39* (8), 1676-80.

8. Shanley, E.; Rauh, M. J.; Michener, L. A.; Ellenbecker, T. S.; Garrison, J. C.; Thigpen, C. A., Shoulder Range of Motion Measures as Risk Factors for Shoulder and Elbow Injuries in High School Softball and Baseball Players. *Am. J. Sports Med.* **2011**, *39* (9), 1997-2006.

9. Melugin, H. P.; Leafblad, N. D.; Camp, C. L.; Conte, S., Injury Prevention in Baseball: from Youth to the Pros. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* **2018**, *11* (1), 26-34.

10. Sakata, J.; Nakamura, E.; Suzuki, T.; Suzukawa, M.; Akaike, A.; Shimizu, K.; Hirose, N., Efficacy of a Prevention Program for Medial Elbow Injuries in Youth Baseball Players. *Am. J. Sports Med.* **2018**, *46* (2), 460-469.

11. Sakata, J.; Nakamura, E.; Suzuki, T.; Suzukawa, M.; Akeda, M.; Yamazaki, T.; Ellenbecker, T. S.; Hirose, N., Throwing Injuries in Youth Baseball Players: Can a Prevention Program Help? A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Sports Medicine* **2019**, *47* (11), 2709-2716.

12. Lyman, S.; Fleisig, G. S.; Andrews, J. R.; Osinski, E. D., Effect of pitch type, pitch count, and pitching mechanics on risk of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.* **2002**, *30* (4), 463-468.

13. Fleisig, G. S.; Andrews, J. R.; Cutter, G. R.; Weber, A.; Loftice, J.; McMichael, C.; Hassell, N.; Lyman, S., Risk of Serious Injury for Young Baseball Pitchers A 10-Year Prospective Study. *Am. J. Sports Med.* **2011**, *39* (2), 253-257.

14. Sakata, J.; Nakamura, E.; Suzukawa, M.; Akaike, A.; Shimizu, K., Physical Risk Factors for a Medial Elbow Injury in Junior Baseball Players: A Prospective Cohort Study of 353 Players. *Am. J. Sports Med.* **2017**, *45* (1), 135-143.

15. Fleisig, G. S.; Laughlin, W. A.; Aune, K. T.; Cain, E. L.; Dugas, J. R.; Andrews, J. R., Differences among fastball, curveball, and change-up pitching biomechanics across various levels of baseball. *Sports Biomech.* **2016**, *15* (2), 128-138.
16. Escamilla, R. F.; Fleisig, G. S.; Groeschner, D.; Akizuki, K., Biomechanical Comparisons Among Fastball, Slider, Curveball, and Changeup Pitch Types and Between Balls and Strikes in Professional Baseball Pitchers. *Am. J. Sports Med.* **2017**, *45* (14), 3358-3367.
17. Slowik, J. S.; Aune, K. T.; Diffendaffer, A. Z.; Cain, E. L.; Dugas, J. R.; Fleisig, G. S., Fastball Velocity and Elbow-Varus Torque in Professional Baseball Pitchers. *Journal of athletic training* **2019**, *54* (3), 296-301.
18. Fleisig, G. S.; Weber, A.; Hassell, N.; Andrews, J. R., Prevention of Elbow Injuries in Youth Baseball Pitchers. *Curr. Sports Med. Rep.* **2009**, *8* (5), 250-254.
19. Davis, J. T.; Limpisvasti, O.; Fluhme, D.; Mohr, K. J.; Yocum, L. A.; Elattrache, N. S.; Jobe, F. W., The effect of pitching biomechanics on the upper extremity in youth and adolescent baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.* **2009**, *37* (8), 1484-91.
20. Takagi, Y.; Oi, T.; Tanaka, H.; Inui, H.; Fujioka, H.; Tanaka, J.; Yoshiya, S.; Nobuhara, K., Increased horizontal shoulder abduction is associated with an increase in shoulder joint load in baseball pitching. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2014**, *23* (12), 1757-1762.
21. Tanaka, H.; Hayashi, T.; Inui, H.; Muto, T.; Ninomiya, H.; Nakamura, Y.; Yoshiya, S.; Nobuhara, K., Estimation of Shoulder Behavior From the Viewpoint of Minimized Shoulder Joint Load Among Adolescent Baseball

Pitchers. *Am. J. Sports Med.* **2018**, *46* (12), 3007-3013.

22. Tanaka H; Hayashi T; Inui H; Muto T; Ninomiya H; Nobuhara K, The Effect of Thoracic Spine Kinematics on Shoulder and Elbow Joint Load During Baseball Pitching in Youth Baseball Pitchers. *Orthopaedic Research Society 2018 Annual Meeting, New Orleans, USA, March 10-13, 2018. Poster No.2171* **2018**.

23. Suzuki, Y.; Muraki, T.; Sekiguchi, Y.; Ishikawa, H.; Yaguchi, H.; Suzuki, Y.; Morise, S.; Honda, K.; Izumi, S.-I., Influence of thoracic posture on scapulothoracic and glenohumeral motions during eccentric shoulder external rotation. *Gait Posture* **2019**, *67*, 207-212.

24. Chalmers, P. N.; Sgroi, T.; Riff, A. J.; Lesniak, M.; Sayegh, E. T.; Verma, N. N.; Cole, B. J.; Romeo, A. A., Correlates With History of Injury in Youth and Adolescent Pitchers. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery* **2015**, *31* (7), 1349-1357.

25. Greenberg, E. M.; Lawrence, J. T. R.; Fernandez-Fernandez, A.; Shah, K.; McKenna, C.; Rowan, M. L.; Kim, J.; McClure, P., Physical and Functional Differences in Youth Baseball Players With and Without Throwing-Related Pain. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* **2017**, *5* (11), 7.

26. Camp, C. L.; Zajac, J. M.; Pearson, D. B.; Sinatro, A. M.; Spiker, A. M.; Werner, B. C.; Altchek, D. W.; Coleman, S. H.; Dines, J. S., Decreased Shoulder External Rotation and Flexion Are Greater Predictors of Injury Than Internal Rotation Deficits: Analysis of 132 Pitcher-Seasons in Professional Baseball. *Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery* **2017**, *33* (9), 1629-1636.

27. Wright, A. A.; Hegedus, E. J.; Tarara, D. T.; Ray, S. C.; Dischiavi, S. L., Exercise prescription for overhead athletes with shoulder pathology: a systematic

- review with best evidence synthesis. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52* (4), 231-+.
28. Hickey, D.; Solvig, V.; Cavalheri, V.; Harrold, M.; McKenna, L., Scapular dyskinesis increases the risk of future shoulder pain by 43% in asymptomatic athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52* (2), 102-110.
29. Kibler, W. B., The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am. J. Sports Med.* **1998**, *26* (2), 325-337.
30. Kibler, W. B.; Ludewig, P. M.; McClure, P. W.; Michener, L. A.; Bak, K.; Sciascia, A. D., Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit'. *Br. J. Sports Med.* **2013**, *47* (14), 877-85.
31. Kebaetse, M.; McClure, P.; Pratt, N. A., Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **1999**, *80* (8), 945-50.
32. Finley, M. A.; Lee, R. Y., Effect of sitting posture on 3-dimensional scapular kinematics measured by skin-mounted electromagnetic tracking sensors. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2003**, *84* (4), 563-8.
33. Cools, A.; Witvrouw, E.; Declercq, G.; Vanderstraeten, G.; Cambier, D., Evaluation of isokinetic force production and associated muscle activity in the scapular rotators during a protraction-retraction movement in overhead athletes with impingement symptoms. *Br. J. Sports Med.* **2004**, *38* (1), 64-68.
34. Cools, A. M.; Witvrouw, E. E.; Mahieu, N. N.; Danneels, L. A., Isokinetic scapular muscle performance in overhead athletes with and without impingement symptoms. *Journal of Athletic Training* **2005**, *40* (2), 104-110.
35. Ebaugh, D. D.; McClure, P. W.; Karduna, A. R., Three-dimensional

scapulothoracic motion during active and passive arm elevation. *Clinical Biomechanics* **2005**, *20* (7), 700-709.

36. Kibler, W. B.; Sciascia, A. D.; Uhl, T. L.; Tambay, N.; Cunningham, T., Electromyographic analysis of specific exercises for scapular control in early phases of shoulder rehabilitation. *Am. J. Sports Med.* **2008**, *36* (9), 1789-98.

37. Nasu, H.; Yamaguchi, K.; Nimura, A.; Akita, K., An anatomic study of structure and innervation of the serratus anterior muscle. *Surg. Radiol. Anat.* **2012**, *34* (10), 921-928.

38. Huang, T.-S.; Ou, H.-L.; Huang, C.-Y.; Lin, J.-J., Specific kinematics and associated muscle activation in individuals with scapular dyskinesis. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2015**, *24* (8), 1227-1234.

39. Tsuruike, M.; Ellenbecker, T. S., Serratus anterior and lower trapezius muscle activities during multi-joint isotonic scapular exercises and isometric contractions. *J Athl Train* **2015**, *50* (2), 199-210.

40. Digiovine, N. M.; Jobe, F. W.; Pink, M.; Perry, J., An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *J. Shoulder Elbow Surg.* **1992**, *1* (1), 15-25.

41. Hashimoto, T.; Fukubayashi, T.; Inoue, K., Change of the scapula muscles at the shoulder internal rotation in shoulder abduction. *Katakansetsu (The Shoulder Joint)* **2009**, *33* (3), 603-605.

42. Yanai, T., Stroke technique and scapulo-humeral range of motion in swimming. *Jorunal of Joint Surgery* **2009**, *28* (11), 1334-1343.

43. 平田幸男, 解剖学アトラス. 原著第 10 版. 文光堂. **2012**.

44. Saha, A., Dynamic stability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop. Scand.* **1971**, *42* (6), 491-505.

45. Mulla, D. M.; Hodder, J. N.; Maly, M. R.; Lyons, J. L.; Keir, P. J., Glenohumeral stabilizing roles of the scapulohumeral muscles: Implications of muscle geometry. *J. Biomech.* **2020**, *100*, 8.
46. 坂井建雄; 松村譲児, プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論/運動器系. 第1版. 医学書院. **2007**.
47. Inman, V. T.; Saunders, J. d. M.; Abbott, L. C., Observations on the function of the shoulder joint. *J. Bone Joint Surg. Am.* **1944**, *26* (1), 1-30.
48. Fung, M.; Kato, S.; Barrance, P. J.; Elias, J. J.; McFarland, E. G.; Nobuhara, K.; Chao, E. Y., Scapular and clavicular kinematics during humoral elevation: A study with cadavers. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2001**, *10* (3), 278-285.
49. McClure, P. W.; Michener, L. A.; Sennett, B. J.; Karduna, A. R., Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2001**, *10* (3), 269-77.
50. Bourne, D. A.; Choo, A. M. T.; Regan, W. D.; MacIntyre, D. L.; Oxland, T. R., Three-dimensional rotation of the scapula during functional movements: An in vivo study in healthy volunteers. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2007**, *16* (2), 150-162.
51. Berckmans, K.; Castelein, B.; Borms, D.; Palmans, T.; Parlevliet, T.; Cools, A., Analysis of Scapular Kinematics and Muscle Activity by Use of Fine-Wire Electrodes During Shoulder Exercises. *The American Journal of Sports Medicine* **2020**, *48* (5), 1213-1219.
52. Moseley, J. B.; Jobe, F. W.; Pink, M.; Perry, J.; Tibone, J., EMG analysis of the scapular muscles during a shoulder rehabilitation program. *Am. J. Sports Med.* **1992**, *20* (2), 128-134.
53. 橋内基純, 菱形筋を中心とした肩甲骨周囲筋群の機能的特徴. 早稲田大学 審査学位論文 博士 (スポーツ科学) **2011**.

54. Vu, N. H.; Huu, N., Anatomical basis of modern thoracotomies: the latissimus dorsi and the «serratus anterior-rhomboid» complex. *Surg. Radiol. Anat.* **1987**, *9* (2), 85-93.
55. Bagg, S. D.; Forrest, W. J., A biomechanical analysis of scapular rotation during arm abduction in the scapular plane. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* **1988**, *67* (6), 238-245.
56. Wickham, J.; Pizzari, T.; Stansfeld, K.; Burnside, A.; Watson, L., Quantifying 'normal' shoulder muscle activity during abduction. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2010**, *20* (2), 212-222.
57. Ben Kibler, W.; Uhl, T. L.; Maddux, J. W. Q.; Brooks, P. V.; Zeller, B.; McMullen, J., Qualitative clinical evaluation of scapular dysfunction: a reliability study. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2002**, *11* (6), 550-556.
58. Burn, M. B.; McCulloch, P. C.; Lintner, D. M.; Liberman, S. R.; Harris, J. D., Prevalence of Scapular Dyskinesis in Overhead and Nonoverhead Athletes: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med* **2016**, *4* (2), 2325967115627608.
59. Alberta, F. G.; ElAttrache, N. S.; Bissell, S.; Mohr, K.; Browdy, J.; Yocum, L.; Jobe, F., The development and validation of a functional assessment tool for the upper extremity in the overhead athlete. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38* (5), 903-11.
60. Tsuruike, M.; Ellenbecker, T. S.; Hirose, N., Kerlan-Jobe Orthopaedic Clinic (KJOC) score and scapular dyskinesis test in collegiate baseball players. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2018**, *27* (10), 1830-1836.
61. Benedetti, M. G.; Zati, A.; Stagni, S. B.; Fusaro, I.; Monesi, R.; Rotini, R., Winged scapula caused by rhomboid paralysis: a case report. *Joints* **2016**, *4* (4), 247-249.

62. Borstad, J. D.; Ludewig, P. M., The effect of long versus short pectoralis minor resting length on scapular kinematics in healthy individuals. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2005**, *35* (4), 227-238.
63. Itami, Y.; Mihata, T.; McGarry, M. H.; Lin, C. C.; Patel, N. A.; Kantor, A.; Neo, M.; Lee, T. Q., Effect of Increased Scapular Internal Rotation on Glenohumeral External Rotation and Elbow Valgus Load in the Late Cocking Phase of Throwing Motion. *Am. J. Sports Med.* **2018**, *46* (13), 3182-3188.
64. Mihata, T.; Jun, B. J.; Bui, C. N. H.; Hwang, J.; McGarry, M. H.; Kinoshita, M.; Lee, T. Q., Effect of Scapular Orientation on Shoulder Internal Impingement in a Cadaveric Model of the Cocking Phase of Throwing. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* **2012**, *94* (17), 1576-1583.
65. Ben Kibler, W.; Sciascia, A.; Dome, D., Evaluation of apparent and absolute supraspinatus strength in patients with shoulder injury using the scapular retraction test. *Am. J. Sports Med.* **2006**, *34* (10), 1643-1647.
66. Tate, A. R.; McClure, P.; Kareha, S.; Irwin, D., Effect of the scapula reposition test on shoulder impingement symptoms and elevation strength in overhead athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2008**, *38* (1), 4-11.
67. Lynch, S. S.; Thigpen, C. A.; Mihalik, J. P.; Prentice, W. E.; Padua, D., The effects of an exercise intervention on forward head and rounded shoulder postures in elite swimmers. *Br. J. Sports Med.* **2010**, *44* (5), 376-81.
68. De Mey, K.; Danneels, L.; Cagnie, B.; Cools, A. M., Scapular Muscle Rehabilitation Exercises in Overhead Athletes With Impingement Symptoms Effect of a 6-Week Training Program on Muscle Recruitment and Functional Outcome. *Am. J. Sports Med.* **2012**, *40* (8), 1906-1915.
69. Turgut, E.; Duzgun, I.; Baltaci, G., Effects of scapular stabilization

exercise training on scapular kinematics, disability, and pain in subacromial impingement: a randomized controlled trial. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2017**, *98* (10), 1915-1923. e3.

70. Reinold, M. M.; Escamilla, R.; Wilk, K. E., Current Concepts in the Scientific and Clinical Rationale Behind Exercises for Glenohumeral and Scapulothoracic Musculature. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2009**, *39* (2), 105-117.

71. Schory, A.; Bidinger, E.; Wolf, J.; Murray, L., A systematic review of the exercises that produce optimal muscle ratios of the scapular stabilizers in normal shoulders. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2016**, *11* (3), 321.

72. Myers, J. B.; Pasquale, M. R.; Laudner, K. G.; Sell, T. C.; Bradley, J. P.; Lephart, S. M., On-the-field resistance-tubing exercises for throwers: an electromyographic analysis. *Journal of athletic training* **2005**, *40* (1), 15.

73. Alizadehkhayat, O.; Hawkes, D. H.; Kemp, G. J.; Frostick, S. P., Electromyographic Analysis of the Shoulder Girdle Musculature During External Rotation Exercises. *Orthop J Sports Med* **2015**, *3* (11), 2325967115613988.

74. Alizadehkhayat, O.; Hawkes, D. H.; Kemp, G. J.; Frostick, S. P., Electromyographic analysis of shoulder girdle muscles during common internal rotation exercises. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2015**, *10* (5), 645.

75. Castelein, B.; Cagnie, B.; Parlevliet, T.; Cools, A., Superficial and deep scapulothoracic muscle electromyographic activity during elevation exercises in the scapular plane. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2016**, *46* (3), 184-193.

76. Glenn S. Fleisig, J. R. A., Charles J. Dillman, Rafael F. Escamilla, Kinetics of Baseball Pitching with Implications About Injury Mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine* **1995**, *23* (2), 233-239.

77. Charles J. Dillman, G. S. F., James R. Andrews, Biomechanics of Pitching

with Emphasis upon Shoulder Kinematics. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **1993**, *18* (2), 402-408.

78. Miyashita, K.; Kobayashi, H.; Koshida, S.; Urabe, Y., Glenohumeral, scapular, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation in throwing. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38* (2), 363-8.

79. Sekiguchi, T.; Hagiwara, Y.; Yabe, Y.; Tsuchiya, M.; Itaya, N.; Yoshida, S.; Yano, T.; Sogi, Y.; Suzuki, K.; Itoi, E., Playing video games for more than 3 hours a day is associated with shoulder and elbow pain in elite young male baseball players. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2018**, *27* (9), 1629-1635.

80. Ministry of Internal Affairs and Communications, J., Communications Usage Trend Survey in 2018. https://www.soumu.go.jp/main_content/000622194.pdf Accessed 19.3.2020 **2019**.

81. 井尻朋人; 宮下浩二; 浦辺幸夫; 藤川博樹; 武本有紀子, 体幹アライメントが投球時の肩関節運動に与える影響. *体力科学* **2009**, *58* (1), 73-80.

82. Perotto, A. O., Anatomical guide for the electromyographer : the limbs and trunk. 3th edition. (Kayamori Ryoji, Trans.). . *Niigata: Nishimura syoten.* (Original work published 1996) **1997**.

83. SENIAM, <http://www.seniam.org/> Accessed 2016.04.01. **2016**.

84. Helen J. Hislop; Dale Avers; Brown, M., *Daniels and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination and Performance Testing, 9th Edition.* Elsevier Health Sciences: 2013.

85. Tsuruike, M.; Ellenbecker, T. S., Adaptation of muscle activity in scapular dyskinesis test for collegiate baseball players. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2016**, *25* (10), 1583-91.

86. Akuzawa, H.; Imai, A.; Iizuka, S.; Matsunaga, N.; Kaneoka, K., The

influence of foot position on lower leg muscle activity during a heel raise exercise measured with fine-wire and surface EMG. *Phys. Ther. Sport* **2017**, *28*, 23-28.

87. Cohen, J., Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum*. **1988**.

88. Ebaugh, D. D.; Spinelli, B. A., Scapulothoracic motion and muscle activity during the raising and lowering phases of an overhead reaching task. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2010**, *20* (2), 199-205.

89. Xie, Y. F.; Szeto, G.; Madeleine, P.; Tsang, S., Spinal kinematics during smartphone texting - A comparison between young adults with and without chronic neck-shoulder pain. *Appl. Ergon.* **2018**, *68*, 160-168.

90. McLean, L., The effect of postural correction on muscle activation amplitudes recorded from the cervicobrachial region. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2005**, *15* (6), 527-535.

91. Thigpen, C. A.; Padua, D. A.; Michener, L. A.; Guskiewicz, K.; Giuliani, C.; Keener, J. D.; Stergiou, N., Head and shoulder posture affect scapular mechanics and muscle activity in overhead tasks. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2010**, *20* (4), 701-9.

92. Schneider, C. A.; Rasband, W. S.; Eliceiri, K. W., NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* **2012**, *9* (7), 671-5.

93. Okubo, Y.; Kaneoka, K.; Imai, A.; Shiina, I.; Tatsumura, M.; Izumi, S.; Miyakawa, S., Electromyographic analysis of transversus abdominis and lumbar multifidus using wire electrodes during lumbar stabilization exercises. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2010**, *40* (11), 743-50.

94. Okubo, Y.; Kaneoka, K.; Imai, A.; Shiina, I.; Tatsumura, M.; Izumi, S.; Miyakawa, S., Comparison of the activities of the deep trunk muscles measured

using intramuscular and surface electromyography. *J. Mech. Med. Biol.* **2010**, *10* (4), 611-620.

95. Cohen, J., A power primer. *Psychol. Bull.* **1992**, *112* (1), 155-9.

96. Fukuda, T., Statokinetic reflexes in equilibrium and movement. *Auris Nasus Larynx* **1984**, *11* (2).

97. Wegner, S.; Jull, G.; O'Leary, S.; Johnston, V., The effect of a scapular postural correction strategy on trapezius activity in patients with neck pain. *Man. Ther.* **2010**, *15* (6), 562-566.

98. Shahidi, B.; Johnson, C. L.; Curran-Everett, D.; Maluf, K. S., Reliability and group differences in quantitative cervicothoracic measures among individuals with and without chronic neck pain. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2012**, *13*.

99. Gaffney, B. M.; Maluf, K. S.; Curran-Everett, D.; Davidson, B. S., Associations between cervical and scapular posture and the spatial distribution of trapezius muscle activity. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2014**, *24* (4), 542-549.

100. Douglas, E. C.; Gallagher, K. M., The influence of a semi-reclined seated posture on head and neck kinematics and muscle activity while reading a tablet computer. *Appl. Ergon.* **2017**, *60*, 342-347.

101. Kiefer, A.; Shirazi-Adl, A.; Parnianpour, M., Synergy of the human spine in neutral postures. *Eur. Spine J.* **1998**, *7* (6), 471-9.

102. Rohlmann, A.; Bauer, L.; Zander, T.; Bergmann, G.; Wilke, H. J., Determination of trunk muscle forces for flexion and extension by using a validated finite element model of the lumbar spine and measured in vivo data. *J. Biomech.* **2006**, *39* (6), 981-989.

103. Solomonow, M.; Baratta, R. V.; Banks, A.; Freudenberger, C.; Zhou, B. H., Flexion-relaxation response to static lumbar flexion in males and females.

Clinical Biomechanics **2003**, *18* (4), 273-279.

104. McCann, P. D.; Wootten, M. E.; Kadaba, M. P.; Bigliani, L. U., A kinematic and electromyographic study of shoulder rehabilitation exercises. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **1993**, (288), 179-188.

105. Yamauchi, T.; Hasegawa, S.; Matsumura, A.; Nakamura, M.; Ibuki, S.; Ichihashi, N., The effect of trunk rotation during shoulder exercises on the activity of the scapular muscle and scapular kinematics. *J. Shoulder Elbow Surg.* **2015**, *24* (6), 955-64.

106. Morimoto, Y.; Oshikawa, T.; Imai, A.; Okubo, Y.; Kaneoka, K., Piriformis electromyography activity during prone and side-lying hip joint movement. *J Phys Ther Sci* **2018**, *30* (1), 154-158.

107. Helen Land, S. G., Kerriane Watt Clinical assessment of subacromial shoulder impingement e Which factors differ from the asymptomatic population? *Musculoskeletal Science and Practice* **2017**, (27), 49-56.

108. Laudner, K. G.; Moline, M. T.; Meister, K., The relationship between forward scapular posture and posterior shoulder tightness among baseball players. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38* (10), 2106-12.

109. 安達玄; 押川智貴; 阿久澤弘; 金岡恒治, 立位姿勢の胸部屈曲角度と投球動作時の胸部伸展の関連性. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌* **2020**, *40* (3), 334-338.