

肩関節肢位の違いによる 棘下筋の線維別筋活動の変化

Changes in muscular activity depending on infraspinatus muscle fibers
involved in different glenohumeral joint positions

佐藤真樹*1,4, 小林寛和*2, 平野佳代子*3, 吉原圭祐*3,4
菊地拓磨*3, 岡戸敦男*1,4, 竹内康剛*3, 亀山 泰*3

キー・ワード：infraspinatus muscle, transverse/oblique fiber, EMG-assessed muscle ability
棘下筋, 横走・斜走線維, 筋活動

〔要旨〕 棘下筋は解剖学的に横走線維と斜走線維に分けられ、各線維における機能は異なるとされる。本研究は、肩関節肢位の違いによる外転運動および外旋運動時の等尺性収縮における棘下筋の各線維の活動について、表面筋電図を用いて確認した。横走線維について、肩関節外転運動時では外転角度が大きく、かつ内旋位で活動が低下した。外旋運動時では外転角度が大きい肢位で活動が低下した。斜走線維は、肩関節外旋運動時において、肩関節外転角度が大きい肢位で棘下筋全体（横走線維＋斜走線維）に対する斜走線維の活動比率が上昇した。肩甲帯周囲の機能評価やエクササイズを実施する際には、各線維の機能を考慮する必要があることが示唆された。

緒言（はじめに）

肩関節外転運動には、三角筋や棘上筋等の肩周囲筋群が協働する。Kronberg ら¹⁾は、筋電図を用いて肩関節運動時の筋活動を評価し、肩関節外転運動時に棘下筋も活動していることを報告している。Mochizuki ら²⁾は、棘下筋の上腕骨頭付着部を観察したところ、大結節部の前方部分まで骨頭を包み込むように広範囲に付着し、三角筋や棘上筋と協働して肩甲上腕関節の外転運動にも作用するとしており、Kronberg らの結果を解剖学的に裏付ける報告をしている。

棘下筋は、解剖学的に横走線維と斜走線維に分けられ³⁾、各線維方向の違いから機能が異なることが推測される。諸家により棘下筋の線維別機能に関する筋電図学的分析がなされている⁴⁻⁶⁾。

スポーツ動作におけるオーバーヘッドモーションでは、肩甲上腕関節外転運動時に内旋・外旋運動が複合的に生じる動作が多い。特に投球動作では、cocking 期において肩甲上腕関節内旋位から外旋運動を伴いながら外転運動が生じるため、肩甲上腕関節内旋域での棘下筋各線維の機能が重要である。肩関節周囲の外傷・障害を有する対象へのリハビリテーションや外傷・障害予防においては、三角筋や棘上筋等の作用に加えて、棘下筋の作用も考慮して対応することが重要となる。

本研究は、異なる肩関節肢位にて肩関節外転運動および外旋運動時の棘下筋の各線維の筋活動を確認し、肩関節周囲の外傷・障害を有する対象へのリハビリテーションや、外傷・障害予防のための知見を得ることを目的に実施した。

対象および方法

1. 対象

健常男性 16 名を対象とした。年齢 20.4 ± 2.9 歳、身長 171.1 ± 6.4 cm、体重 62.1 ± 7.7 kg、Body Mass Index (BMI) 21.1 ± 1.7 kg/m² (平均値 ± 標準偏差)

*1 トヨタ自動車株式会社リコンディショニングセンター

*2 日本福祉大学健康科学部

*3 医療法人承継会井戸田整形外科名駅スポーツクリニック

*4 公益財団法人スポーツ医・科学研究所

Corresponding author: 亀山 泰 (kameyama@sorc.or.jp)

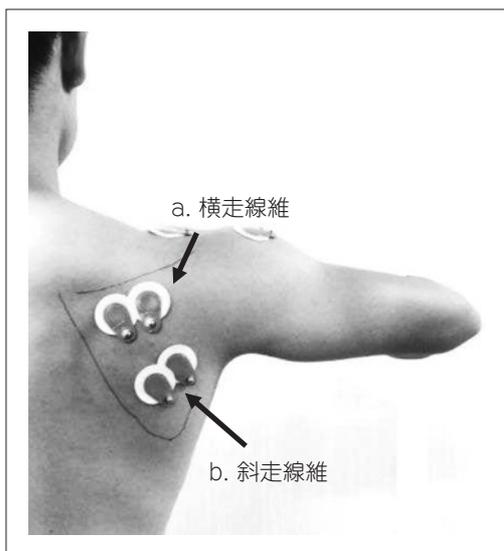


図 1 電極の貼布位置
a. 横走線維 b. 斜走線維
 横走線維は、肩甲棘の内側端と大円筋起始部を結んだ線の上方 1/3 の部位。
 斜走線維は、上方 2/3 から肩甲棘に平行に引いた線と、肩甲棘の内側 1/4 から肩甲骨内側縁に平行に引いた線との交点とした。

であった。

なお、日常生活に支障をきたす肩関節疾患を有する者、肩関節 2nd 内旋角度が 20° 未満の者、肩関節に手術歴がある者、翼状肩甲様のアライメント等の明らかな肩甲骨アライメント不良を有する者、肩甲上腕関節の前方および下方への不安定性を有する者は対象から除外した。

全ての対象に、書面および口頭で研究内容の説明を行い、署名にて同意を得た。本研究は、ヘルシンキ宣言の精神に基づき、倫理面や個人情報の管理に十分に配慮したものである。

II. 方法

1. 筋活動の測定

肩関節外転運動および外旋運動時における最大等尺性収縮時の筋活動を表面筋電図 (NORAXON 社製 MYOTRACE4000) を用いて測定した。外転運動は上腕遠位、外旋運動は前腕遠位を抵抗部位とした。測定側は右側とした。なお、測定時に反動等の代償運動が生じないように、被験者の腰背部を椅子の背もたれに密着させた。また、正面からの試技の観察と、ビデオ撮影を実施し、試技終了毎に確認を行った。明らかな代償が生じたと判断された試技は測定試技に含めず再度測定を実施した。

2. 被験筋と電極貼付位置

棘下筋横走線維・斜走線維に図 1 のように電極を貼付した。電極は、肩関節 90° 外転位にて貼付した。正木らの報告⁵⁾を参考に横走線維は、肩甲棘の内側端と大円筋起始部を結んだ線の上方 1/3 の部位とし、斜走線維は、上方 2/3 から肩甲棘に平行に引いた線と、肩甲棘の内側 1/4 から肩甲骨内側縁に平行に引いた線との交点とした。

3. 測定条件

両足部を床面に接地させた椅子座位にて、肘関節 90° 屈曲位・前腕回内回外中間位で測定した。

肩関節外転角度および内旋角度を以下の 5 条件に規定した。条件 1) 肩関節外転 90°・内旋 0° 位、条件 2) 外転 90°・内旋 20° 位、条件 3) 外転 45°・内旋 0° 位、条件 4) 外転 45°・内旋 20° 位、条件 5) 外転 0°・内旋 0° 位とした (図 2)。各測定条件にて外転運動時および外旋運動時における棘下筋の各線維の活動を確認した。施行順は無作為に決定し実施した。

なお、外旋運動時には肩関節外転位保持による筋収縮の影響を除くため、被験者の肘を台の上に置き測定を実施した (図 3)。

4. 筋活動の解析

各測定条件にて 3 秒間の最大等尺性運動時の筋活動を測定し、測定開始 1 秒後から 1 秒間の積分値を抽出した⁷⁾。2 回の測定の平均値を測定値として採用した。

●算出項目 I：横走線維・斜走線維の %MVIC

Hislop ら⁸⁾の徒手筋力検査法 (manual muscle testing : MMT) の肩関節外旋筋力の測定肢位に準じて、腹臥位肩関節外転・外旋 90° 位での肩関節外旋運動時における等尺性最大随意収縮 (maximum voluntary isometric contraction : MVIC) 時の筋活動を測定した。前述した各測定条件での棘下筋横走線維および斜走線維の筋活動を MVIC で除した %MVIC を算出した。

●算出項目 II：外旋運動における斜走線維活動比

外旋運動時における棘下筋全体の筋活動 (横走線維の筋活動 + 斜走線維の筋活動) に対する斜走線維の筋活動の比率を斜走線維活動比として算出した (図 4)。

5. 統計学的分析

横走線維・斜走線維の各線維における外転運動時の %MVIC、外旋運動時の %MVIC を各測定条件間で比較した。また、外旋運動時の斜走線維活動

	外転角度	内旋角度
条件 1)	90°	0°
条件 2)	90°	20°
条件 3)	45°	0°
条件 4)	45°	20°
条件 5)	0°	0°

図2 測定条件
肩関節外転および内旋角度を5条件に規定した。

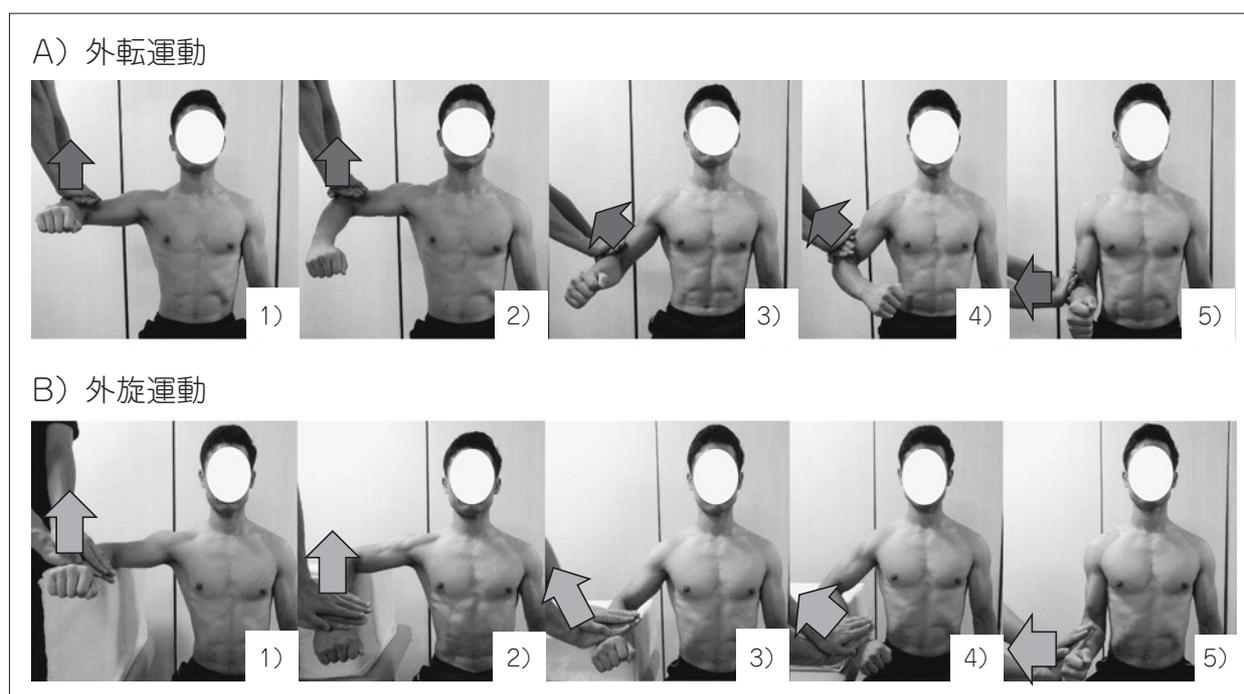


図3 各条件における測定
外転運動および外旋運動を5条件で測定した。
外転運動は上腕遠位、外旋運動は前腕遠位に抵抗を加えた。

比について各測定条件間で比較した。

統計学的解析には、一元配置分散分析・Tukey法の多重比較を用いた。有意水準は5%とした。

$$\text{斜走線維活動比} = \frac{\text{斜走線維の筋活動}}{\text{棘下筋全体（横走線維 + 斜走線維）の筋活動}} \times 100$$

図4 外旋運動における斜走線維活動比
外旋運動時における棘下筋全体の筋活動（横走線維+斜走線維）に対する斜走線維の筋活動の比率

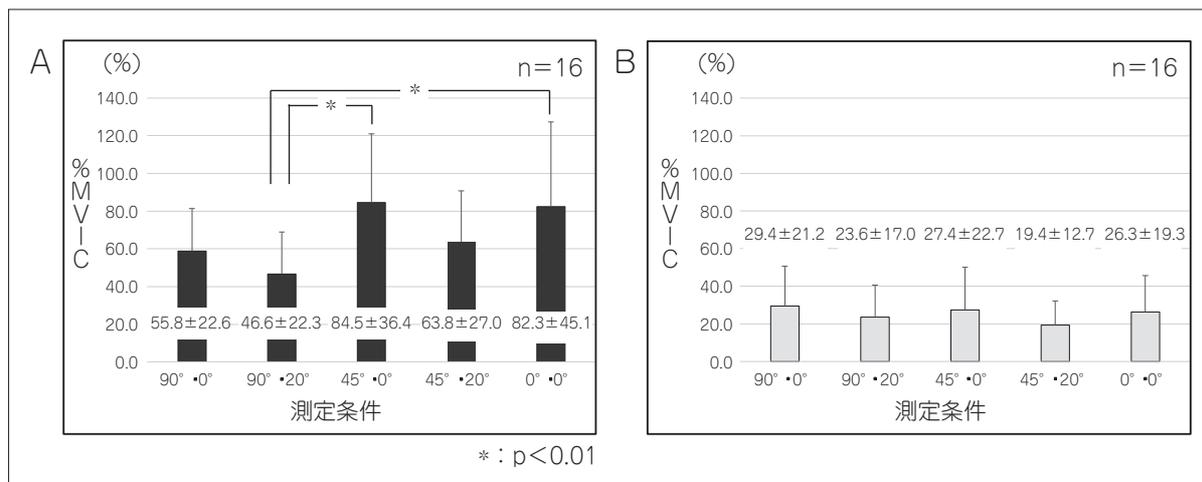


図5 外転運動時における各肢位での%MVICの比較

A) 横走線維, B) 斜走線維

横走線維：外転 90°・内旋 20°位と比較して、外転 45°・内旋 0°位、外転 0°・内旋 0°位が有意に高値を示した (p<0.01)。

斜走線維：すべての条件間において有意な差はみられなかった。

結 果

I. 横走線維・斜走線維の%MVIC

①肩関節外転運動時 (図5)

横走線維では、条件2)外転 90°・内旋 20°位と比較して、条件3)外転 45°・内旋 0°位、条件5)外転 0°・内旋 0°位が有意に高値を示した (p<0.01)。

斜走線維では、すべての条件間において有意な差はみられなかった。

②肩関節外旋運動時 (図6)

横走線維では、条件1)外転 90°・内旋 0°位と比較して、条件3)外転 45°・内旋 0°位、条件4)外転 45°・内旋 20°位、条件5)外転 0°・内旋 0°位で有意に高値を示した (p<0.01)。また、条件2)外転 90°・内旋 20°位と比較して、条件3)外転 45°・内旋 0°位、条件4)外転 45°・内旋 20°位、条件5)外転 0°・内旋 0°位で有意に高値を示した (p<

0.01)。

斜走線維では、すべての条件間において有意な差はみられなかった。

II. 肩関節外旋運動における斜走線維活動比 (図7)

条件1)外転 90°・内旋 0°位と比較して、条件3)外転 45°・内旋 0°位、条件4)外転 45°・内旋 20°位、条件5)外転 0°・内旋 0°位で有意に低値を示した (p<0.01)。また、条件2)外転 90°・内旋 20°位と比較して、条件3)外転 45°・内旋 0°位、条件5)外転 0°・内旋 0°位で有意に低値を示した (p<0.01)。さらに、条件3)外転 45°・内旋 0°位と比較して、条件5)外転 0°・内旋 0°位で有意に低値を示した (p<0.01)。

考 察

スポーツ動作におけるオーバーヘッドモーショ

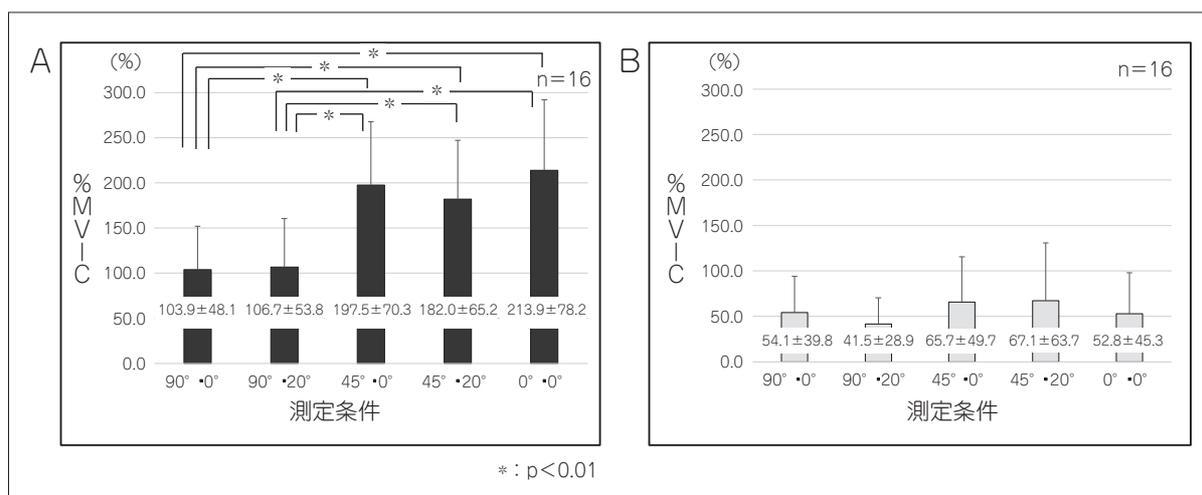


図6 外旋運動時における各肢位の% MVIC の比較

A) 横走線維, B) 斜走線維

横走線維: 外転 90°・内旋 0° 位と比較して, 外転 45°・内旋 0° 位, 外転 45°・内旋 20° 位, 外転 0°・内旋 0° 位で有意に高値を示した ($p < 0.01$).

外転 90°・内旋 20° 位と比較して, 外転 45°・内旋 0° 位, 外転 45°・内旋 20° 位, 外転 0°・内旋 0° 位で有意に高値を示した ($p < 0.01$).

斜走線維: すべての条件間において有意な差はみられなかった。

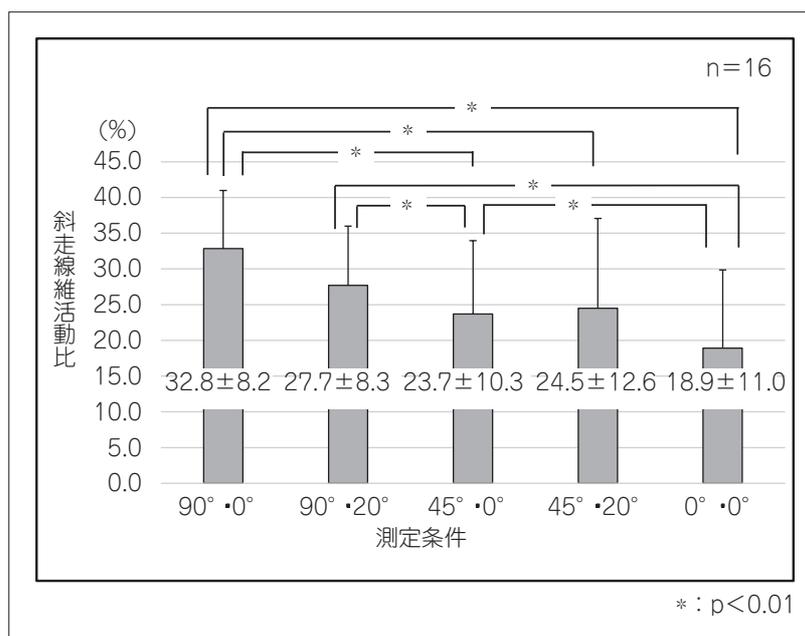


図7 外旋運動時における各肢位の斜走線維活動比の比較

外転 90°・内旋 0° 位と比較して, 外転 45°・内旋 0° 位, 外転 45°・内旋 20° 位, 外転 0°・内旋 0° 位で有意に低値を示した ($p < 0.01$).

外転 90°・内旋 20° 位と比較して, 外転 45°・内旋 0° 位, 外転 0°・内旋 0° 位で有意に低値を示した ($p < 0.01$).

外転 45°・内旋 0° 位と比較して, 外転 0°・内旋 0° 位で有意に低値を示した ($p < 0.01$).

ンは, 肩関節運動が複合的に作用することで行われる. 従って, オーバーヘッドモーションによる投球障害に対するリハビリテーションおよび予防

は, 肩関節機能を詳細に評価し, 併せて投球動作の問題と関連付けて考察することが求められる.

投球障害の発生に関して, 超音波画像診断装置

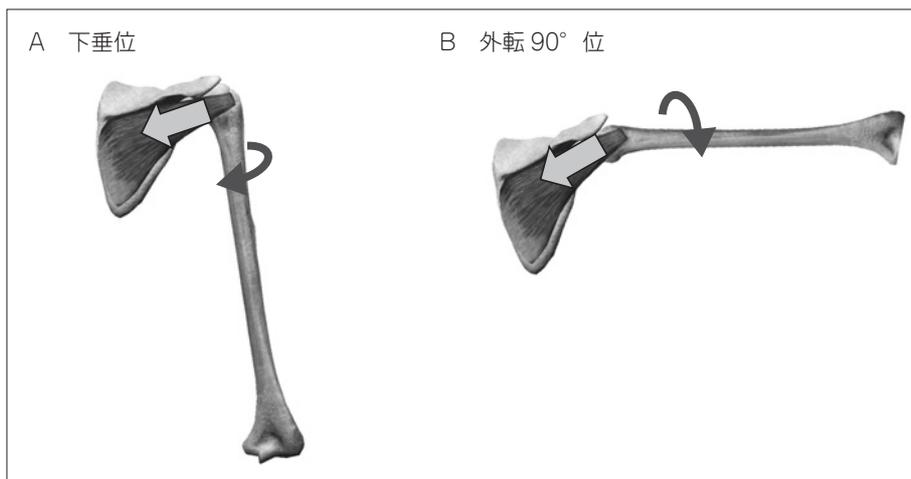


図8 異なる外転角度における外旋運動

- A) 肩甲上腕関節外旋の運動方向（細矢印）と横走線維方向（太矢印）が一致
- B) 肩甲上腕関節外旋の運動方向（細矢印）と横走線維方向（太矢印）が不一致

やMRI画像から棘下筋の筋厚を確認した報告⁹⁻¹¹⁾や等速性筋力測定機器や徒手筋力測定器により肩関節外転および外旋筋力を確認した報告^{12,13)}があり、棘下筋の萎縮や肩関節外旋・外転筋力の低下が投球障害の発生に関係するとされる。投球動作のcocking期では、early cocking期における肩関節内旋位での外転運動に続いて、スムーズな外旋運動が生じ後相へ移行する。矢内¹⁵⁾は、early cocking期からlate cocking期における肩関節内旋位での外転運動時に協調した外旋運動が伴わず、late cocking期において内旋角度が大きい対象は、肩峰下のインピンジメントが生じ投球障害の発生リスクが高くなると述べている。金子ら¹⁴⁾は、投球動作中の回旋筋腱板の筋活動を確実しており、棘下筋は他の筋と比較し、late cocking期に活動が高かったことを報告している。これらのことから、肩関節外転および外旋作用をもつ棘下筋の機能は重要であり、リハビリテーションおよび予防を図る際には、棘下筋の機能的な役割を各関節角度別に詳細に把握する必要がある。

今回の結果から、肩関節外転運動時における横走線維の活動は、外転角度が大きく、かつ内旋位において低下した。棘下筋は、大結節の前方に広範囲に付着するため¹⁾外転作用を有するとされるが、内旋角度が増加することで肩関節外転における運動方向と棘下筋横走線維の筋線維方向が異なり、活動が低下すると考えられる。また、肩関節外転角度が増加することで横走線維の筋線維長が短縮し、筋線維の長さ—張力曲線の関係から活動

が低下すると考えられる。

外旋運動時の横走線維の活動は、外転角度が大きくなると低下した。肩関節下垂位での外旋運動と比較して、外転角度の増加により、肩甲上腕関節の外旋における上腕骨の運動方向と棘下筋横走線維の筋線維方向が異なることが要因と考えられる(図8)。

また、外旋運動時における斜走線維活動比については、外転角度の増加により斜走線維の活動の占める比率が上昇した。外転角度が増加すると横走線維の活動が低下するのに対して斜走線維の変化がないことから、外転角度が大きい肢位での外旋運動においては、横走線維と比較して斜走線維の貢献度が高まることが示された。

本研究の結果から、肩関節外転および外旋運動時の棘下筋横走線維・斜走線維の各線維の筋活動について、表面筋電図を用いて客観化することで棘下筋の線維別機能が確認できた。棘下筋の各線維には肢位別に機能が異なることが示され、肩関節周囲の機能評価やエクササイズを実施する際には、スポーツ動作の特徴と棘下筋各線維の機能を考慮し、対応する必要性が示唆された。

今回は、等尺性収縮によるMVICを用いた検討であり、本研究の結果がスポーツ動作中の筋活動と直結しているかは不明確である。Zatsiorsky¹⁶⁾らは、スポーツ動作等の素早い複合運動においては、運動開始から短時間で力を素早く発揮する能力として力の立ち上がり率(rate of force development; RFD)を検討することが重要と述べてい

る。八十島¹⁷⁾は、肩関節外旋運動時の棘下筋の MVIC および RFD の関係を検討し、MVIC が同等の対象であっても運動開始初期の RFD では異なる様相を示したことを報告している。今後は、MVIC に加えて棘下筋の各線維における RFD を検討し、さらには、動作中の筋活動を確かめることでスポーツ動作中における筋活動を詳細に確認していく。また、棘上筋や小円筋等の腱板構成筋との関係について、針筋電図を用いて詳細に検討していくことも必要である。以上のことを追試していくことで、投球障害に関する効果的なエクササイズ方法や予防効果についても検討していきたい。

結語 (まとめ)

健常男性 16 名を対象として、表面筋電図を用いて肩関節外転および外旋運動時の筋活動を肢位別に確認した。肩関節外転角度および内旋角度の違いにより棘下筋の横走線維、斜走線維の活動が変化した。肩甲帯周囲の機能評価やエクササイズを実施する際には、各線維の機能を考慮する必要があることが示唆された。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) Kronberg M, Nemeth G, Brostrom LA. Muscle activity and coordination in the normal shoulder. An electromyographic study. *Clin Orthop*. 1990; 257: 76-85.
- 2) Mochizuki T, Sugaya H, Uomizu M, et al. Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the foot print of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg*. 2008; 90: 962-969.
- 3) Kato A, Nimura A, Yamaguchi K, et al. An anatomical study of the transverse part of the infraspinatus muscle that is closely with the supraspinatus muscle. *Surg Radial Anat*. 2012; 34: 257-265.
- 4) Hughes PC, Green RA, Taylor NF. Isolation of infraspinatus in clinical test. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2014; 17: 256-260.
- 5) 正木光裕, 高島慎吾, 市橋則明. 棘下筋の筋電図学的分析. 上・下部線維の作用の違い. *理学療法学*. 2011; 38(Suppl2): 263.
- 6) 萩本晋作, 鶴田敏幸. 肩関節周囲筋群の筋電図学的解析とその臨床応用. *肩関節*. 2016; 40: 1109-1115.
- 7) 大浦徹男, 小林寛和, 平野佳代子, 他. 股関節伸展筋力と筋活動に関する検討—関節肢位に着目して—. *臨床スポーツ医学会誌*. 2018; 26: 459-465.
- 8) Hislop HJ, Montgomery J. In: 津山直一(訳). 新・徒手筋力検査法. 原著第 8 版. 東京: 協同医書出版社; 169-210, 2008.
- 9) 山田稔晃. 超音波画像による棘下筋厚の検討. *体力学会*. 1995; 44: 784.
- 10) 山田稔晃. 超音波検査による投球肩の棘下筋評価. *肩関節九州スポーツ医・科学会誌*. 1996; 9: 83-88.
- 11) 後藤英之, 大塚隆信, 杉本勝正. MRI による投球障害肩の棘下筋および肩甲下筋の厚さの検討. *肩関節*. 2004; 28: 359-362.
- 12) Byram IR, Bushnell BD, Dugger K, et al. Preseason shoulder strength measurements in professional baseball pitchers: identifying players at risk for injury. *Am J Sports Med*. 2010; 38: 1375-1382.
- 13) Magnusson SP, Gleim GW, Nicholas JA. Shoulder weakness in professional baseball pitchers. *Medicine and science in sports and exercise*. 1994; 26: 5-9.
- 14) 金子文成, 車谷 洋, 増田 正, 他. 投球動作における肩関節周囲筋筋電図の連続時系列変化に関する分析. *理学療法学*. 2005; 32: 115-122.
- 15) 矢内利政. バイオメカニクスからみた肩関節インピンジメント症候群. *臨床スポーツ医学*. 2013; 30: 417-426.
- 16) Zatsiorsky VM, Kraemer WJ. Task-specific strength. In: *Science and practice of strength training*. 2nd Ed. Champaign: Human kinetics; 17-46, 2006.
- 17) 八十島崇. 肩外旋運動における力の立ち上がり能力の評価. *臨床バイオメカニクス*. 2016; 37: 97-102.

(受付: 2022 年 2 月 9 日, 受理: 2022 年 8 月 17 日)

Changes in muscular activity depending on infraspinatus muscle fibers involved in different glenohumeral joint positions

Satou, M.^{*1,4}, Kobayashi, H.^{*2}, Hirano, K.^{*3}, Yoshihara, K.^{*3,4}
Kikuchi, T.^{*3}, Okado, T.^{*1,4}, Takeuchi, Y.^{*3}, Kameyama, Y.^{*3}

^{*1} Reconditioning Center, TOYOTA MOTOR CORPORATION

^{*2} Faculty of Health Science, Nihon Fukushi University

^{*3} Idota Orthopedics Meieki Sports Clinic

^{*4} Institute of Sports Medicine and Science

Key words: infraspinatus muscle, transverse/oblique fiber, EMG-assessed muscle ability

[Abstract] The infraspinatus muscle consists anatomically of transverse and oblique fibers, and the different fibers have different functions in view of the direction.

The purpose of this study was to evaluate the muscle activity level of the different fibers of the infraspinatus muscle by surface electromyography to determine the function of each fiber type during abduction and external rotation of the glenohumeral joint. The activity of the transverse fibers change during abduction depending on the internal rotation angle of the shoulder joint. The activity of the oblique fibers as related to the transverse fibers changed during shoulder joint abduction movement depending on changes in the shoulder abduction angle. The activity of the respective fibers of the infraspinatus muscle is indicated by differences in shoulder abduction and the internal rotation angle. When we perform functional evaluation and exercise, the function of the respective fibers of the infraspinatus must be considered.