

肩関節外転・外旋の複合運動における棘下筋の線維別筋活動

Muscle activity of infraspinatus fibers during the combined motion of shoulder abduction and external rotation

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

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

〔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ものとされる。スポーツにおける投球動作等のオーバーヘッドモーションは、肩関節の外転運動や外旋運動等の複合的な運動による。本研究では、肩関節外転運動と外旋運動の複合運動における等尺性収縮時の棘下筋横走線維・斜走線維の線維別筋活動を確認した。

外旋方向に抵抗を加える外旋条件（以下、ER 条件）と外転および外旋方向に複合した抵抗を加える外転位保持外旋条件時（以下、ABD+ER 条件）の筋活動を表面筋電図にて測定した。測定肢位は、1) 肩関節外転 45° 位・内旋 0° 位、2) 外転 45° 位・内旋 20° 位、3) 外転 90° 位、内旋 0° 位、4) 外転 90° 位・内旋 20° 位の 4 肢位とした。

横走線維では、測定肢位 3) 外転 90°・内旋 0° 位および 4) 外転 90°・内旋 20° 位で ER 条件と比較して ABD+ER 条件にて有意に筋活動が増大した。斜走線維では、すべての測定肢位 1) ~4) で ER 条件と比較して ABD+ER 条件にて有意に筋活動が増大した。ER 条件と ABD+ER 条件では棘下筋各線維の活動が異なり、これらの結果を考慮した評価・対応が必要となる。

緒言（はじめに）

棘下筋は、解剖学的に横走線維と斜走線維に分けられる¹⁾。各線維方向の違いにより機能が異なり、線維別機能に関する筋電図学的分析がなされている²⁻⁴⁾。我々は、肩関節外転角度および内旋角度を詳細に規定して、等尺性収縮による筋活動を検討し、肩関節肢位により各線維の機能が異なることを報告した⁵⁾。投球動作では、肩関節外転運動時に内旋運動・外旋運動が複合的に生じる動作が多い。投球動作の cocking phase においては、肩関

節内旋位から外旋運動を伴いながら外転運動が生じるが、このような複合的な運動における棘下筋各線維の活動を検討した報告はない。

本研究は、異なる肩関節肢位にて肩関節外転および外旋の複合運動における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リコンディショニング、障害予防のための知見を得ることを目的とした。

対象および方法

1. 対象

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) であった。

*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

Corresponding author：小林寛和 (hiro-k@n-fukushi.ac.jp)

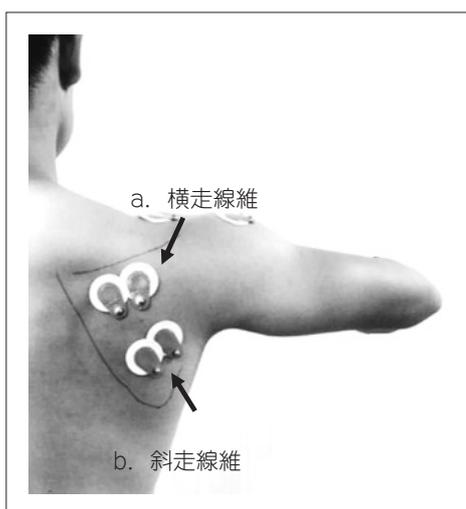


図1 電極の貼付位置

a. 横走線維 b. 斜走線維

a. 横走線維：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

b. 斜走線維：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。

なお、測定時に肩関節に痛み等の症状を有する者、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の不良を有する者、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

肩関節外旋運動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。外旋運動は前腕遠位を抵抗部位とし、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。正面からの試技の観察およびビデオ撮影し、試技終了毎に代償運動および等尺性収縮時に肩関節運動が生じていないかの確認を行った。明らかな代償や肩関節運動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した。

1. 被験筋と電極貼付位置

棘下筋横走線維と斜走線維に図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³⁾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。

2. 測定条件と測定肢位

両足部を床面に接地させた椅子座位にて、肘関節90°屈曲位で前腕回内・回外中間位にて測定した。上腕遠位を台に乗せた外的支持のある外旋条件(以下、ER条件)と外的支持がなく外転位を保持する外転位保持+外旋条件(以下、ABD+ER条件)の2条件を確認した(図2)。

肩関節外転角度および内旋角度を以下の4肢位に規定した。肢位1)肩関節外転45°・内旋0°位、肢位2)外転45°・内旋20°位、肢位3)外転90°・内旋0°位、肢位4)外転90°・内旋20°位とした(図3)。各測定肢位にてER条件およびABD+ER条件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た。

3. 筋活動の解析

各測定肢位における3秒間の最大等尺性運動時の筋活動を2つの条件で測定し、測定開始1秒後から1秒間の積分値を抽出した⁶⁾。2回の測定の平均値を測定値として採用した。

●算出項目：横走線維と斜走線維の%MVIC

Hislopら⁷⁾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・外旋各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。前述した各測定肢位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。

4. 統計学的分析

4つの各測定肢位における横走線維と斜走線維の%MVICをER条件とABD+ER条件間で比較した。

統計学的解析には、対応のあるt検定およびWilcoxonの符号付順位和検定を用いて検討した。有意水準は5%とした。

■ 結果

①横走線維の%MVIC (図4)

肢位3)外転90°・内旋0°位および肢位4)外転

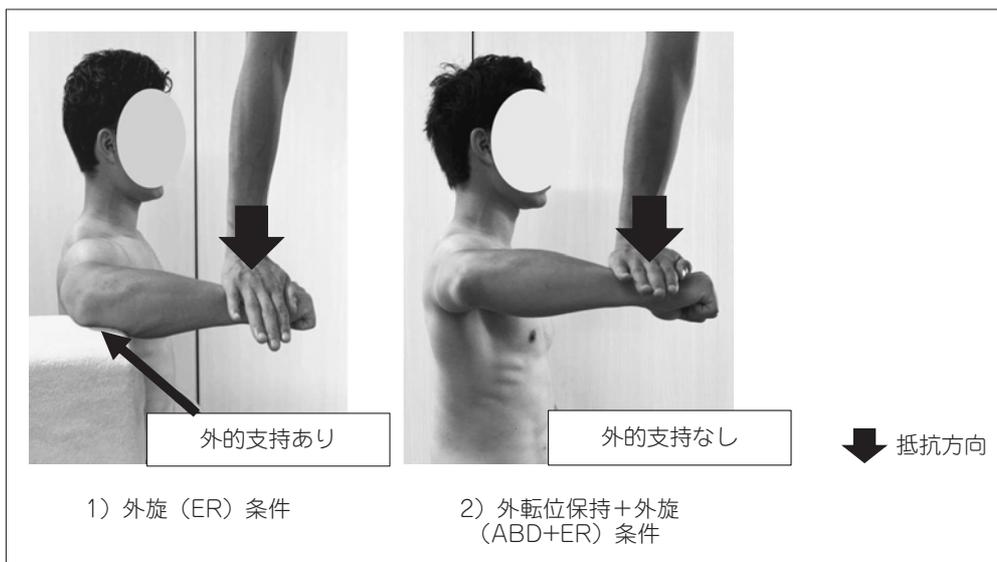


図2 測定条件

- 1) 上腕遠位に外的支持のある外旋 (ER) 条件と
- 2) 外的支持がなく、外転位を保持する外転位保持+外旋 (ABD+ER) 条件の2条件とした。

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

図3 測定肢位

肩関節外転および内旋角度を4条件に規定した。

90°・内旋20°位にて、ER条件と比較しABD+ER条件において有意に高値を示した ($p < 0.01$)。

②斜走線維の%MVIC (図5)

すべての肢位にて、ER条件と比較しABD+ER条件において有意に高値を示した ($p < 0.01$)。

■ 考 察

投球障害に対するリハビリテーションやリコンディショニング、および投球障害の予防では、投球における動作の問題と関節可動域制限や筋力低下などの機能的問題を結び付けて考察することが重要になる^{8,9)}。投球動作の不良による肩関節・肘

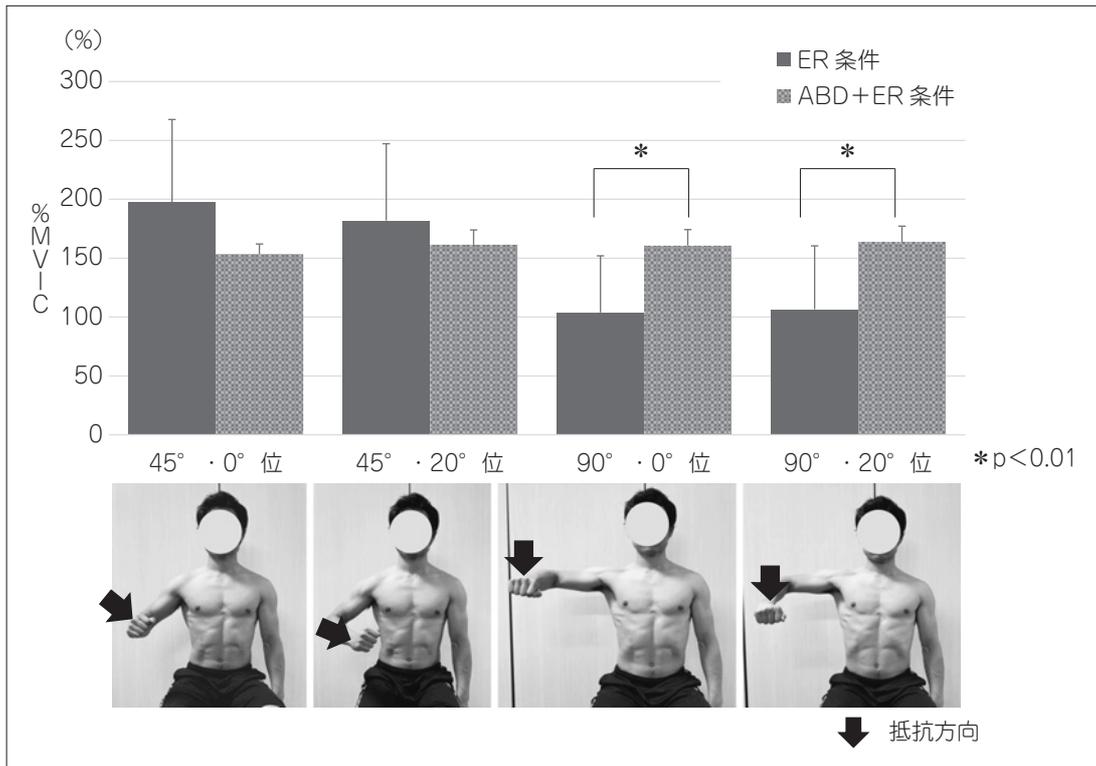


図4 横走線維の肢位別 %MVIC
 %MVIC：腹臥位外転外旋各90°の肢位における随意最大外旋努力時の横走線維の活動を100%とした90°・0°位、90°・20°位にてER条件と比較し、ABD+ER条件で有意に高値であった。

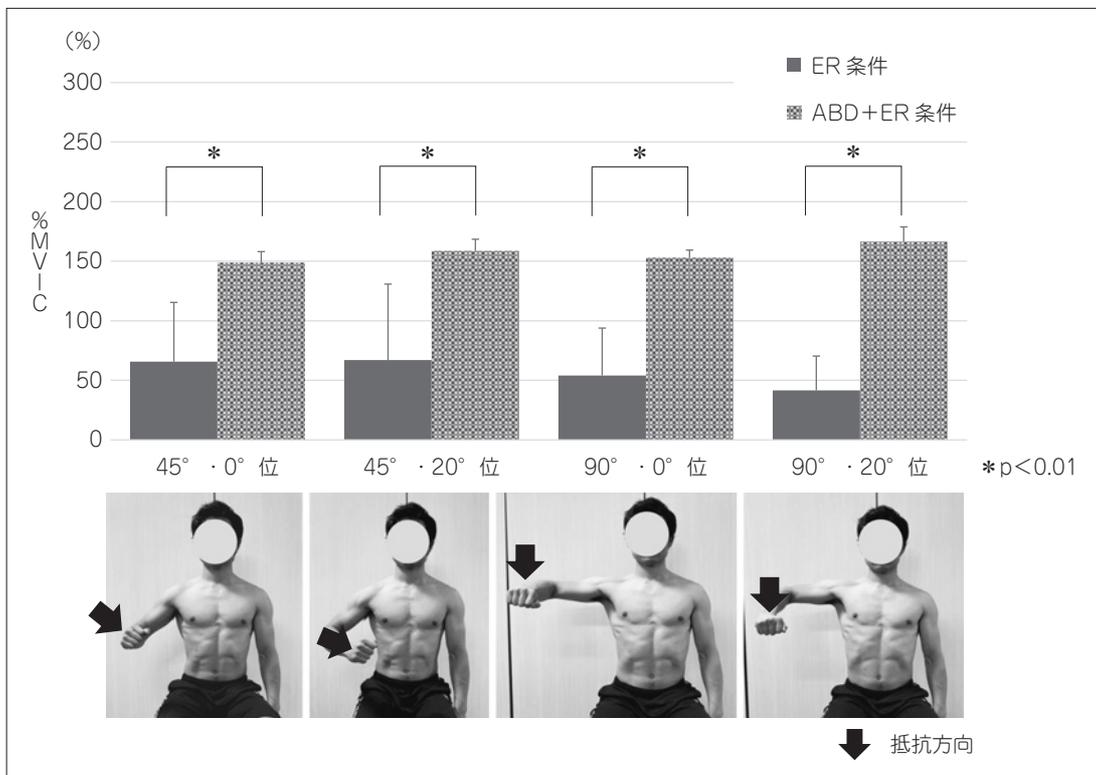


図5 斜走線維の肢位別 %MVIC
 %MVIC：腹臥位外転外旋各90°の肢位における随意最大外旋努力時の斜走線維の活動を100%とした全ての肢位にてER条件と比較し、ABD+ER条件で有意に高値であった。

関節に加わるメカニカルストレスについては数多く報告¹⁰⁻¹³⁾されており、その原因ともなる身体機能の関連付けを要する。

矢内¹⁴⁾は、early cocking phase から late cocking phase における肩関節内旋位での外転運動時に外旋運動が連動しない投球動作は、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¹⁵⁾は、投球動作中の回旋筋腱板の筋活動を確認しており、棘下筋は他の筋と比較し、late cocking phase 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、投球動作においては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やリコンディショニング、および投球障害の予防を図る上では、棘下筋の機能についてより具体的な確認を要する。

我々は先行研究において、肩関節外転および外旋運動における棘下筋の横走線維・斜走線維の活動を関節肢位別に調査し、線維別の機能について報告した⁵⁾。スポーツ動作におけるオーバーヘッドモーションは、肩関節外転運動や外旋運動などが複合的に作用するため、先行研究における単関節運動時の機能を把握したうえで複合的な運動時の肩関節機能を理解し、動作との関連付けが必要になる。

本研究では、異なる肩関節肢位において肩関節外転および外旋運動の複合運動における棘下筋の各線維の筋活動を確認した。

今回の結果から、ER 条件と比較して ABD+ER 条件では、横走線維は外転 90°・内旋 0° 位および外転 90°・内旋 20° 位で有意に高値を示した。ABD+ER 条件では、肩関節外転位を保持した状態での外旋筋の筋発揮が必要となる。横走線維は、肩関節外転作用を有するとの報告¹⁶⁾もあり、外転 90°・内旋 0° および外転 90°・内旋 20° 位の肢位における ABD+ER 条件の複合運動では、他の肩関節外転筋と協働して外転位を保持しつつ上腕骨頭の肩甲骨関節窩への求心位を保持するために、棘上筋との協働により肩甲骨関節窩に上腕骨頭を引きつける役割を担い、活動が増大したものと考えられる。

斜走線維は、全ての肢位で ER 条件と比較して ABD+ER 条件では、有意に高値を示した。ABD+ER 条件では、抵抗部位が前腕の遠位部であることから、肩甲骨関節窩に対して上腕骨頭が上方

化する力が加わる。上腕骨頭の上方化を検討した Mura ら¹⁷⁾の報告によると、棘下筋が上腕骨頭上方化の抑制に重要と述べている。若林ら¹⁸⁾は、棘下筋の反復収縮による筋疲労が肩関節外転時の骨頭上方化に影響したと報告している。我々の先行研究では、肩関節外転位での外旋運動時には斜走線維の役割が増大することを明らかにしている⁵⁾。このことから ABD+ER 条件では斜走線維の活動により上腕骨頭の上方化を抑制し、求心位保持の作用を担っているものと考えられる。

以上より、棘下筋横走線維は外転が大きい肢位にて肩関節外転作用ならびに求心位保持作用、斜走線維は骨頭の上方化の抑制に影響することが示唆され、本研究における ABD+ER 時においても、骨頭上方化の制動に貢献していることが考えられる。投球障害への機能評価として、ABD+ER 条件による棘下筋斜走線維の機能を確認することの必要性も示唆された。

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の直接的な関連は不明確である。今後は、投球動作中の関節運動と棘下筋の活動の関連、棘上筋や小円筋等の腱板構成筋や僧帽筋、三角筋等の近接筋との関係について、針電極やワイヤー電極を用いての検討をしたい。さらには、ABD+ER 条件における筋機能と投球動作との関係や、ABD+ER 条件の筋機能低下と投球障害発生への影響についても確認を試みたい。

■ 結語 (まとめ)

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の複合関節運動時の筋活動を肢位別に確認した。肩関節外転・外旋の複合運動では、棘下筋斜走線維の活動が高値となった。本研究の結果は、肩関節・肩甲帯周囲の機能評価やエクササイズ方法を検討する際の一助となるものと考えられる。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

Conceptualization : 佐藤真樹, 小林寛和, 平野佳代子

Data curation : 佐藤真樹

Formal analysis : 佐藤真樹, 吉原圭祐

Investigation : 佐藤真樹, 吉原圭祐

Methodology : 佐藤真樹, 小林寛和, 平野佳代子, 吉原圭祐

Project administration : 佐藤真樹, 小林寛和, 平野佳代子

Resources : 佐藤真樹

Supervision : 小林寛和, 平野佳代子, 吉原圭祐, 岡戸敦男, 竹内康剛, 亀山泰

Validation : 佐藤真樹, 小林寛和, 平野佳代子, 吉原圭祐, 岡戸敦男, 竹内康剛, 亀山泰

Writing original draft : 佐藤真樹

Writing review & editing : 佐藤真樹, 小林寛和, 平野佳代子, 吉原圭祐, 岡戸敦男, 竹内康剛, 亀山泰

文 献

- 1) 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.
- 2) Hughes PC, Green RA, Taylor NF. Isolation of infraspinatus in clinical test. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2014; 17: 256-260.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 佐藤真樹, 小林寛和, 平野佳代子, 他. 肩関節肢位の違いによる棘下筋の線維別筋活動の変化. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2023; 31: 137-144.
- 6) 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—. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2018; 26: 459-465.
- 7) 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.
- 8) Wilk KE, Meister K, Andrews JR, et al. Current concepts in the rehabilitation of the overhead throwing athlete. *Am. J. Sports Med.* 2002; 30: 136-151.
- 9) Limpisvasti O, Elattrache NS, Jobe FW. Understanding shoulder and elbow injuries in baseball. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2007; 15: 139-147.
- 10) Whiteley R. Baseball throwing mechanics as they relate to pathology and performance—A review. *Journal of Sports Science and Medicine.* 2007; 6: 1-20.
- 11) Mihata T, McGarry MH, Kinoshita M, et al. 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.* 2010; 38(2): 369-374.
- 12) 松尾知之. 競技復帰のための投球フォーム. *臨床スポーツ医学.* 2012; 29: 313-318.
- 13) 田中 洋. 肩の動きと機能に対するバイオメカニクスからのアプローチ. *Sportsmedicine.* 2012; 129: 13-30.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) Kronberg M, Nemeth G, Brostrom LA. Muscle activity and coordination in the normal shoulder. An electromyographic study. *Clin Orthop.* 1990; 257: 76-85.
- 17) Mura N, Shawn W, Mark E, et al. The effect of infraspinatus disruption on glenohumeral torque and superior migration of the humeral head: A biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2003; 179-184.
- 18) 若林育子, 井樋栄二, 清水東吾, 他. 外旋筋群疲労が拳上動作時の骨頭求心性へ及ぼす影響. *肩関節.* 2001; 25: 263-266.

(受付: 2024年3月22日, 受理: 2024年9月24日)

Muscle activity of infraspinatus fibers during the combined motion of shoulder abduction and external rotation

Sato, M.^{*1}, Kobayashi, H.^{*2}, Hirano, K.^{*3}, Yoshihara, K.^{*3}
Okado, T.^{*1}, 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

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

[Abstract] The infraspinatus muscle is anatomically divided into transverse and oblique fibers, each functioning differently. Overhead motions in sports are performed by compound movements, including shoulder joint abduction (ABD) and external rotation (ER). In this study, we confirmed the muscle activities of the transverse and oblique fibers of the infraspinatus muscle during isometric contraction in a compound motion of shoulder joint ABD and ER. Muscle activity was measured using surface electromyography during the ER and ABD+ER conditions. The following four positions were measured: 1) shoulder joint ABD 45° · internal rotation (IR) 0°, 2) ABD 45° · IR 20°, 3) ABD 90° · IR 0°, and 4) ABD 90° · IR 20°. In the transverse fibers, muscle activity was significantly increased in the ABD+ER condition compared to the ER condition at measurement position 3) and 4). Muscle activity significantly increased in the ABD+ER condition in oblique fibers compared to the ER condition in all measured positions 1)-4). The activity of each fiber of the infraspinatus muscle differs between ER and ABD+ER conditions, and it is necessary to consider these results when evaluating and approaching these conditions.