

投球動作における 肩最大外旋時の肩甲上腕関節 水平伸展角度に影響を与える因子

The factors affecting the gleno-humeral horizontal extension angle of maximum external rotation of the shoulder during the throwing motion

小山太郎*1,2, 宮下浩二*2, 松下 廉*1

キー・ワード：throwing shoulder, three-dimensional motion analysis, gleno-humeral horizontal extension angle
投球障害肩, 三次元動作解析, 肩甲上腕関節水平伸展角度

【要旨】 投球障害の要因の一つである肩最大外旋位（MER）での肩甲上腕関節水平伸展角度に影響を与える因子を検討した。対象は大学野球投手 12 名とした。投球動作を三次元解析し、肩最大外旋位での肩甲上腕関節水平伸展、肩甲上腕関節外旋、肩甲帯伸展、肩甲骨後傾、肩外転の各角度を算出した。肩甲上腕関節水平伸展角度を目的変数、その他の各角度を説明変数として重回帰分析を用いて検討した。その結果、肩甲上腕関節水平伸展角度 = $-1.37 \times$ 肩甲帯伸展角度 $-1.87 \times$ 肩甲骨後傾角度 $+0.97 \times$ 肩外転角度 -74.48 の重回帰式が得られた ($R^2=0.89, p<0.01$)。肩甲骨運動が不十分な場合、肩甲上腕関節水平伸展角度が増大し、投球障害のリスクが高まると考えられる。

1. はじめに

投球障害肩が多く発生する位相として、肩最大外旋位（Maximum External Rotation；MER）があげられる¹⁾。この MER において、過度な肩甲上腕関節の水平伸展運動が生じる現象を hyperangulation という²⁾。hyperangulation を呈することで、上腕骨頭は関節窩に対して前方へ偏位し、それにより前方組織の障害や Internal Impingement による腱板、関節唇の損傷を惹起するとされている^{3,4)}。したがって、投球障害肩に対するリハビリテーションおよび予防を行っていく上で、MER 時に hyperangulation を呈することのない投球動作を獲得することが重要となる。そのためには MER における肩甲上腕関節水平伸展角度増大の要因を明らかにし、対応策を講じる必要がある。

MER における肩甲上腕関節水平伸展角度に影響を与える因子について、Jobe は前方関節包の弛緩や三角筋後部線維の牽引力を挙げている²⁾。さらに、肩関節内旋制限や肩外転筋力の低下を原因とする報告⁵⁾もある。このように、肩関節機能から投球時の肩甲上腕関節水平伸展角度増大の要因を検討したものは多く報告されている。

しかし、投球動作解析を通して、肩甲上腕関節水平伸展角度増大の要因について検討した報告は少ない。リリース時と足部接地時の肩水平伸展角度が相関するとの報告¹⁾もあるが、MER 前後における肩水平伸展運動に影響する因子は明らかではない。肩水平伸展運動は肩甲上腕関節水平伸展運動と肩甲帯伸展運動から構成されており、hyperangulation は肩甲上腕関節で生じる現象である。この hyperangulation を呈することのない投球動作を獲得するためには、肩甲上腕関節における水平伸展角度増大の要因を明らかにする必要がある。

そこで本研究は、三次元動作解析を用いて、投

*1 まつした整形外科

*2 中部大学大学院生命健康科学研究科

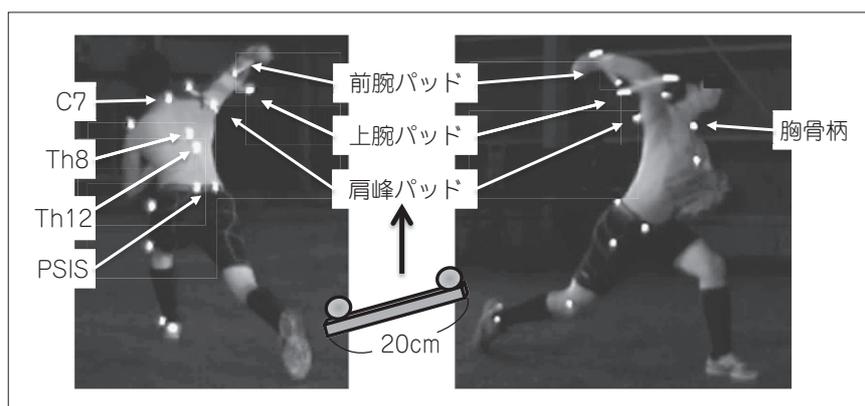


図1 テーピングパッド及びマーカの貼付位置

球動作における肩甲上腕関節水平伸展角度をはじめとする各関節角度を算出し、これらの関節角度の関係から、MER時の肩甲上腕関節水平伸展角度に影響を与える因子を分析することを目的として行った。

2. 対象と方法

1. 対象

本研究の趣旨に同意の得られた大学硬式野球部に所属する投手12名(右投げ10名, 左投げ2名)を対象とした。年齢は 20.2 ± 0.7 歳, 身長は 179.5 ± 5.7 cm, 体重は 72.9 ± 8.1 kgであった。投球時に肩関節および肘関節の疼痛がないことを対象の条件とした。

2. 方法

1) 投球動作撮影

対象の服装として、靴は練習用のアップシューズを、下半身はスパッツを着用させた。上半身は反射マーカを貼付するために着衣は行わず、また非投球側にはグラブを持たせた。反射マーカは胸骨柄、第7頸椎(C7)、第8胸椎(Th8)および第12胸椎(Th12)の棘突起、両側の上後腸骨棘(PSIS)に貼付した。また、投球側の肩峰、上腕遠位端背側、前腕遠位端背側の3カ所にウレタン素材のテーピング用パッド(20cm×2cm×1.5cm)を貼付した。その両端には1つずつマーカを貼付した。この時、肩峰は前後方向に、上腕と前腕は各長軸と直交するようにテーピング用パッドを位置させた(図1)。

ウォーミングアップを十分に行った後、対象に18.44m先に設置した防球ネットの標的に向け直球を10球投球させた。これらの投球動作を、対象

の周囲に設置した4台のハイスピードカメラ(フォーアシスト社製IEEE1394b高速カメラ, FKN-HC200C)にて、200コマ/秒で撮影した。

2) データ解析

撮影した画像をパソコンに取り込んだ後、三次元ビデオ動作解析システムFrame-DIAS II(DKH社製)を用いて、1/200秒毎に画像上でマーカをプロットし、DLT法(Direct Linear Transformation method)⁶⁾により三次元座標値を算出した。解析した位相はステップ脚の足部接地からリリースまでとし、その期間を100%に規格化した。10球のうち、対象が「自分のイメージ通りに投球できた」と判定した1球を採用し、分析を行った。

得られた三次元座標値から、MERを算出するため、肩全体の外旋角度(以下、肩外旋角度)を算出した^{7,8)}。肩外旋角度は、体幹に対する前腕の角度であり、肩甲上腕関節外旋、肩甲骨後傾、胸椎伸展を含む、見かけ上の肩関節全体の外旋角度である。算出方法は以下の通りである。まず、前腕パッド両端のマーカの中点、上腕パッド両端のマーカの中点、C7棘突起からなる平面の法線ベクトルと、上腕パッド両端のマーカの中点、C7棘突起、Th12棘突起からなる平面の法線ベクトルを算出した。次にこの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た(図2a)。基本姿勢として肩関節外転90度、内外旋中間位、肘関節屈曲90度、前腕回内外中間位を撮影し、この時の関節角度を0°として、算出した肩外旋角度を補正した。角度表記は日本整形外科学会関節可動域測定法に準じ、外旋方向への運動をプラス、内旋方向への運動をマイナスとした。

算出した肩外旋角度の最大値をMERとし、

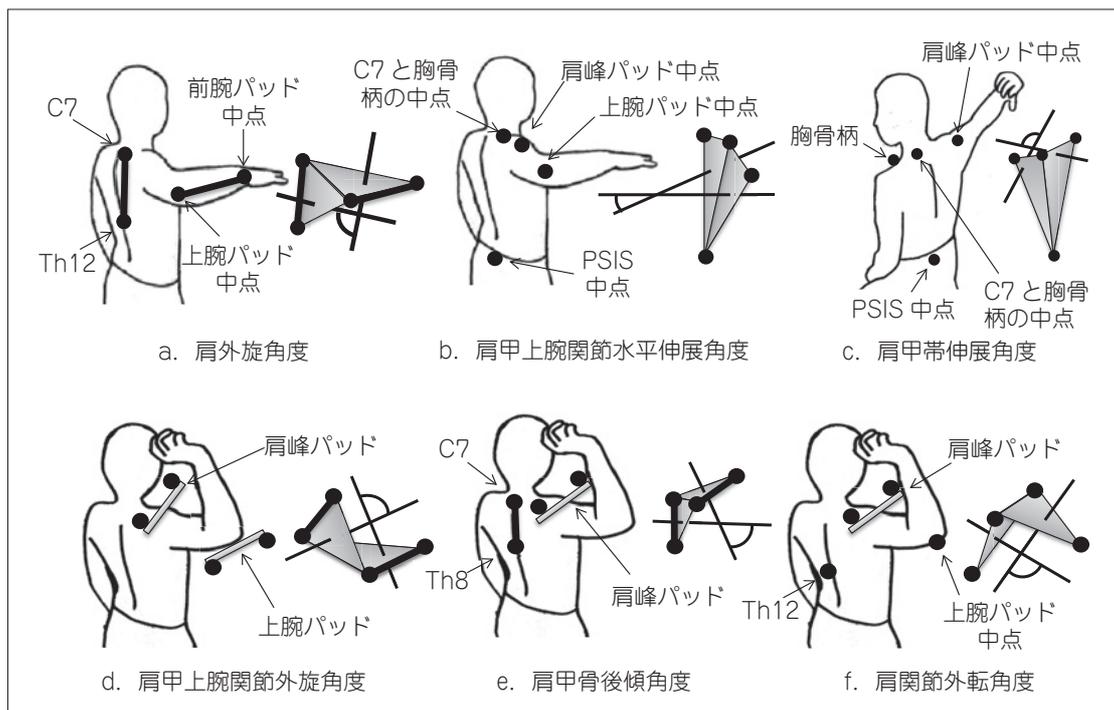


図2 各関節角度

MER 時の①肩甲上腕関節水平伸展角度, ②肩甲帯伸展角度, ③肩甲上腕関節外旋角度, ④肩甲骨後傾角度, ⑤肩外転角度を算出した⁹⁾. それぞれの算出方法を以下に示す.

①肩甲上腕関節水平伸展角度 (図 2b)

上腕パッドの中心, 肩峰パッドの中心, 両 PSIS の中心からなる平面の法線ベクトルと, 肩峰パッドの中心, C7 棘突起と胸骨柄の中心, 両 PSIS の中心からなる平面の法線ベクトルがなす角度を肩甲上腕関節水平伸展角度として算出した. 基本姿勢の角度を 0° とし, そこから水平伸展方向への運動をプラス, 水平屈曲方向への運動をマイナスとした.

②肩甲帯伸展角度 (図 2c)

C7 棘突起と胸骨柄の中心, 胸骨柄, 両 PSIS の中心からなる平面の法線ベクトルと, C7 棘突起と胸骨柄の中心, 肩峰パッドの中心, 両 PSIS の中心からなる平面の法線ベクトルがなす角度を肩甲帯伸展角度として算出した. 基本姿勢の角度を 0° とし, そこから伸展方向への運動をプラス, 屈曲方向への運動をマイナスとした.

③肩甲上腕関節外旋角度 (図 2d)

肩峰パッド両端の点と上腕パッドの外側端の点の 3 点からなる平面の法線ベクトルと, 上腕パッドの両端と肩峰のパッドの後方端の 3 点からなる

平面の法線ベクトルのなす角度を肩甲上腕関節外旋角度として算出した. 基本姿勢の角度を 0° とし, そこから外旋方向への運動をプラス, 内旋方向への運動をマイナスとした.

④肩甲骨後傾角度 (図 2e)

肩峰パッド両端と C7 棘突起の 3 点からなる平面の法線ベクトルと C7, Th8 棘突起と, 肩峰パッド後端の 3 点からなる平面の法線ベクトルのなす角度を肩甲骨後傾角度として算出した. 基本姿勢の角度を 0° とし, 後傾方向への運動をプラス, 前傾方向への運動をマイナスとした.

⑤肩外転角度 (図 2f)

体幹に対する上腕の角度であり, 肩甲上腕関節および肩甲骨の運動を含む肩関節全体の外転角度である. Th12 棘突起, 肩峰パッドの両端からなる平面の法線ベクトルと, 肩峰パッドの両端, 上腕パッドの中心からなる平面の法線ベクトルがなす角度を肩外転角度として算出した. 基本姿勢の角度を 90° とし, 外転方向への運動をプラス, 内転方向への運動をマイナスとした.

3) 統計処理

MER 時の肩甲上腕関節水平伸展角度を目的変数, 肩甲帯伸展角度, 肩外旋角度, 肩甲上腕関節外旋角度, 肩甲骨後傾角度, 肩外転角度を説明変数として, 重回帰分析を行った. 有意水準は 5%

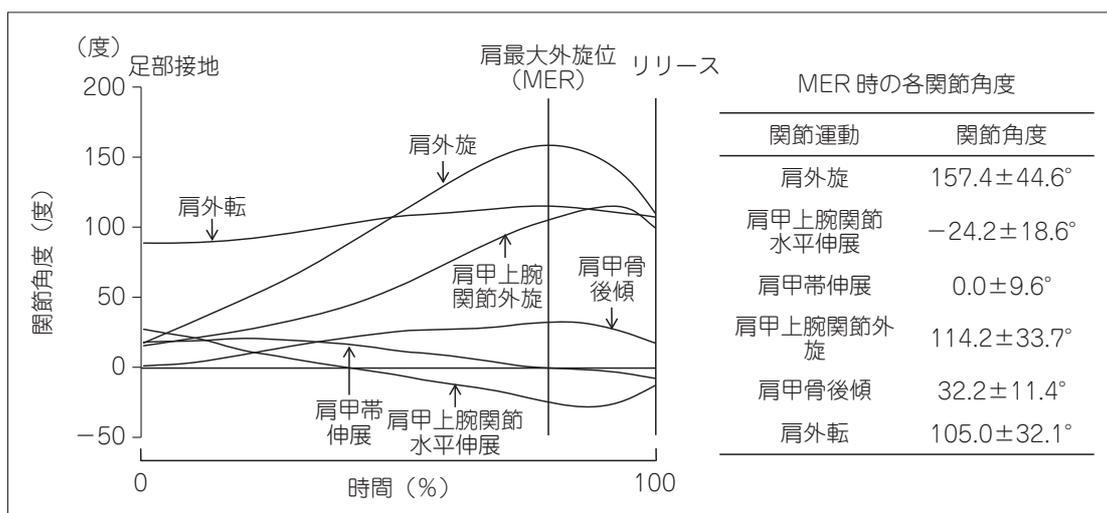


図3 各関節の平均角度変化

左グラフは足部接地からリリースまでの各関節の角度の推移を示す。縦軸を関節角度、横軸を規格化した時間 (%) とした。肩最大外旋位 (MER) は肩外旋角度が最大となった点であり、右の表は MER 時の各関節角度である。

表1 肩甲上腕関節水平伸展角度を目的変数とした重回帰分析結果

	標準回帰係数	p 値
肩甲帯伸展	-1.42	p<0.01
肩甲骨後傾	-1.93	p<0.05
肩外転	1.14	p<0.05

とした。

3. 結果

足部接地からリリースまでの各関節角度変化を図3に示す。肩外旋角度の最大値は $157.4 \pm 46.3^\circ$ であり、この時点をも MER とした。MER における各関節角度は、肩甲上腕関節水平伸展角度 $-24.2 \pm 18.6^\circ$ 、肩甲帯伸展角度 $0.0 \pm 9.6^\circ$ 、肩甲上腕関節外旋角度 $105.0 \pm 32.1^\circ$ 、肩甲骨後傾角度 $32.2 \pm 11.4^\circ$ 、肩外転角度 $114.2 \pm 33.7^\circ$ であった。

次に、重回帰分析の結果を表1に示す。肩甲帯伸展角度、肩甲骨後傾角度及び肩外転角度が、MER 時の肩甲上腕関節水平伸展角度と関連する要因として認められた。重回帰式は、肩甲上腕関節水平伸展角度 = $-1.37 \times$ 肩甲帯伸展角度 $-1.87 \times$ 肩甲骨後傾角度 $+0.97 \times$ 肩外転角度 -74.48 ($R^2=0.89, p<0.01$) であった。

4. 考察

投球障害肩による痛みなどの症状は、MER 前

後で発生することが多い。投球動作に伴う肩甲上腕関節の外旋運動は、肩甲上腕関節へ求心位から逸脱させるようなストレスを加え、関節窩に対して上腕骨頭を偏位させる。その結果、肩甲上腕関節周囲の組織にストレスが加わり、疼痛が生じるとされている。この上腕骨頭を関節窩から偏位させようとするストレスを増大させる要因の一つとして、投球動作の中で肩外旋運動と同時に生じる肩甲上腕関節の水平屈曲、伸展運動があげられる。特に、MER における過剰な肩甲上腕関節水平伸展運動である hyperangulation は、肩外旋運動とともに関節窩に対して上腕骨頭を偏位させ、疼痛発生の一因となる。そのため、MER において肩甲上腕関節水平伸展角度が増大する要因を明らかにする必要がある。

投球障害肩発生の重要な要因のひとつに、肩甲胸郭関節の機能低下がある¹⁰⁻¹²⁾。本研究の結果、MER 時の肩甲上腕関節水平伸展角度に影響を及ぼす要因として、肩甲帯伸展角度および肩甲骨後傾角度が示された。それぞれ、 $r = -1.37, r = -1.87$ と回帰係数がマイナスであるため、肩甲帯伸展角度および肩甲骨後傾角度が小さい投球動作ほど、肩甲上腕関節水平伸展角度が大きくなることが示された。投球動作における肩甲骨運動の役割として、肩甲骨関節窩と上腕骨頭を適合させること¹³⁾ や上腕骨との位置関係を生理学的に許容される範囲となるよう動きを調整すること¹⁴⁾ があげられて

おり、肩甲上腕関節が求心位を保持するためには、肩甲胸郭関節の機能が重要となる。さらに、多くの肩関節運動最終域において肩甲骨運動の割合が多くなることが報告^{15,16)}されており、このことは、MERでの肩水平伸展運動における肩甲帯伸展運動の重要性を示唆している。また、関節運動学的に、肩甲骨後傾角度が不十分な状態では、肩甲帯伸展運動は効率的に行うことができない。そのため、投球動作中の肩外旋運動において、肩甲骨後傾運動が十分に行われることは、外旋運動における肩甲上腕関節へのストレスのみでなく、水平伸展運動における肩甲上腕関節へのストレスを軽減するためにも重要になると考えられる。その他にも、投球動作における肩甲帯伸展および肩甲骨後傾角度が減少する要因として、足部接地時をはじめとするMER以前の投球動作からの影響などが考えられる。しかし、いずれの要因であっても肩甲帯伸展運動および肩甲骨後傾運動が減少した場合には、代償運動として肩甲上腕関節での水平伸展が過度に生じ、結果として投球障害に至る危険性が高まると考えられる。

さらに、本研究では、MER時の肩甲上腕関節水平伸展角度に影響を及ぼす要因として、肩外転角度が示された。回帰係数は $r=0.97$ とプラスであるため、肩外転角度が大きいほど、肩甲上腕関節水平伸展角度も大きくなるという結果となった。投球動作において、肩外転角度が低下したいわゆる「肘下がり」は投球障害肩となるリスクが高いとされており、「肘下がり」とhyperangulationとの関係に言及した報告¹³⁾も見られる。しかし、本研究では、異なる結果となった。一般に、肩外転角度が低下した状態での肩外旋運動では、外旋可動域が制限される¹⁷⁾。そのため、投球動作において、足部接地時の肩外転角度が低下している場合、その後の後期コッキング期での肩外旋運動が円滑に行えない。足部接地時において「肘下がり」を呈した投球動作は、その代償として、過度な肩水平屈曲運動により後期コッキング期以降の上肢運動を行うとの報告¹⁸⁾もあることから、本研究においても、「肘さがり」の代償動作としての肩甲上腕関節水平屈曲角度の増大が生じていると考えられる。

一方で、肩甲上腕関節水平伸展角度と肩外旋角度、肩甲上腕関節外旋角度の間に関連性は見られなかった。肩外旋運動は肩甲上腕関節外旋、肩甲

骨後傾、胸椎伸展運動で構成される。このうち、肩甲上腕関節外旋運動は、水平伸展運動と同様に関節角度が増大することで、上腕骨頭の前方向へ偏位させる方向にストレスを加える。そのため、肩甲上腕関節外旋および水平伸展角度の増大が相俟ることで、この前方向へのストレスがより強まると考えられる。今回、投球動作におけるこの2つの関節角度の関係性を分析するために検討を行ったが、両者の間に関連はみられなかった。つまり、MERにおいて、肩甲上腕関節外旋角度に関わらず、肩甲上腕関節の水平伸展角度が増大した投球動作および増大していない投球動作がそれぞれ存在すると考えられる。さらに、先行研究において、投球時の肩外旋運動とそれに伴う肩水平伸展、水平屈曲運動は、必ずしも同期していない¹⁹⁾と報告されている。これらは、肩甲上腕関節外旋角度および水平伸展角度は、それぞれ個別の要因によって関節角度が決定されることを示唆している。そのため、肩甲上腕関節の外旋角度と水平伸展角度が同時に増大することも起こりうると考えられ、その場合、2つの関節角度の増大が相俟ることで、投球障害肩に至るリスクがより高くなると考えられる。

以上のことから、hyperangulationに伴う投球障害肩のリハビリテーションおよび予防を行っていくためには、MERにおける十分な肩甲帯伸展角度および肩甲骨後傾角度の獲得が必要となる。さらに、後期コッキング期以降の肩関節運動には、足部接地時の肩・肘関節角度が影響を及ぼす²⁰⁾とされており、今後は、足部接地時をはじめとするMER以前の位相における各関節運動とMERでの肩甲上腕関節水平伸展運動の関係についても検討していく必要があると考える。

5. 結語

1. 大学野球選手を対象に、投球時の肩最大外旋位(MER)における肩甲上腕関節水平伸展角度を目的変数、肩甲帯伸展角度、肩外旋角度、肩甲上腕関節角度、肩甲帯伸展角度、肩外転角度を説明変数として重回帰分析を行った。

2. 重回帰式は、肩甲上腕関節水平伸展角度 = $-1.37 \times$ 肩甲帯伸展角度 $-1.87 \times$ 肩甲骨後傾角度 $+0.97 \times$ 肩外転角度 -74.48 であった。MER時に肩甲帯伸展角度および肩甲骨後傾角度が小さく、肩外転角度が大きい投球動作では、肩甲上腕関節水

平伸展角度が増大することが示された。

3. 投球動作において、肩甲帯伸展および肩甲骨後傾運動が障害された場合、代償動作として、肩甲上腕関節での水平伸展が過剰に生じ、結果として障害に至る危険性が高まると考えられる。

文 献

- 1) 信原克哉：肩 その機能と臨床. 医学書院, 東京, 第4版, 349-415, 2012.
- 2) Jobe, FW.: OPERATIVE TECHNIQUES IN UPPER EXTREMITY SPORTS INJURIES. Mosby-Year book, USA, 164-176, 1996.
- 3) Whiteley, R.: Baseball throwing mechanics as they relate to pathology and performance—A review. *Journal of Sports Science and Medicine* 6: 1-20, 2007.
- 4) Mihata, T. et al.: Excessive glenohumeral horizontal abduction as occurs during the late cocking phase of the throwing motion can be critical for internal impingement. *The American journal of sports medicine* 38(2): 369-374, 2010.
- 5) 村上彰宏, 櫻庭景植：順天堂スポーツ健康科学研究 2(4): 171-175, 2011.
- 6) Abdel-Aziz, YI et al.: Direct linear transformation from comparator coordination into object coordinates in close-range photogrammetry. In *Proceedings of the American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry*. American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church (VA), 1-19, 1971.
- 7) 宮下浩二：スポーツ動作の三次元分析における新しい角度算出方法による定量化の試み. *スポーツ医・科学* 17: 23-27, 2004.
- 8) Miyashita, K. et al.: Glenohumeral, scapular, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation in throwing. *The American journal of sports medicine* 38(2): 363-368, 2010.
- 9) 宮下浩二ほか：投球動作における下肢・体幹・上肢関節の連動. *Journal of Athletic Rehabilitation* 4: 39-49, 2003.
- 10) Kibler, W.B., McMullen, J.: Scapular dyskinesis and its relation to shoulder pain. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 11(2): 142-151, 2003.
- 11) Meister, K: Injuries to the shoulder in the throwing athlete part two: evaluation / treatment. *The American journal of sports medicine* 28(4): 587-601, 2000.
- 12) Laudner, KG. et al.: Scapular dysfunction in throwers with pathologic internal impingement. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 36(7): 485-494, 2006.
- 13) Burkhart, SS. et al.: The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 19(6): 641-661, 2003.
- 14) Kibler, W.B: The role of the scapula in athletic shoulder function. *The American journal of sports medicine* 26(2): 325-337, 1998.
- 15) McClure, PW. et al.: Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 10(3): 269-277, 2001.
- 16) 田中直史ほか：水平面における肩甲上腕リズムについて. *肩関節* 18(1): 48-53, 1994.
- 17) Ferrari, DA.: Capsular ligaments of the shoulder. Anatomical and functional study of the anterior superior capsule. *American Journal of sports medicine* 18(1): 20-24, 1990.
- 18) 宮下浩二：スポーツによる上肢の運動障害の予防とリハビリテーション. *日職災医誌* 60: 131-136, 2012.
- 19) 宮下浩二ほか：投球の加速運動における体幹・肩甲帯・肩関節の連動. *Journal of Athletic Rehabilitation* 3: 63-69, 2003.
- 20) 宮下浩二ほか：投球動作の肩最大外旋角度に相関する要因. *体力科学* 57: 141-150, 2008.

(受付：2015年2月23日, 受理：2015年8月7日)

The factors affecting the gleno-humeral horizontal extension angle of maximum external rotation of the shoulder during the throwing motion

Koyama, T.^{*1,2}, Miyashita, K.^{*2}, Matsushita, Y.^{*1}

^{*1} Matsushita Orthopedics

^{*2} Chubu University Graduate School of Life and Health Sciences

Key words: throwing shoulder, three-dimensional motion analysis, gleno-humeral horizontal extension angle

[Abstract] Maximum external rotation (MER) of the shoulder during the throwing motion is a position that is likely to cause shoulder pain. In particular, an increased gleno-humeral horizontal extension angle before and after MER is called “hyperangulation,” and is known to cause throwing injuries. However, it is not revealed how “hyperangulation” occurs during the throwing motion. The purpose of this study is to analyze factors affecting gleno-humeral horizontal extension angle based on the relationship of the gleno-humeral horizontal extension angle and each joint angle of the shoulder joint complex at MER during the throwing motion.

The subjects were 12 male collegiate baseball players. Each subject attempted a throwing task with maximum effort. High-speed video cameras (200 frames per second) were placed around the subject for the data collection. Three-dimensional analysis was performed to calculate shoulder external rotation angle, and assumed maximum MER. Then gleno-humeral horizontal extension, gleno-humeral external rotation, scapular posterior tilt, scapular extension and shoulder abduction angle were computed at MER. Multiple linear regression analysis was used to relate the MER angle to the kinematic parameters in throwing mechanics.

Significant correlations were observed between the gleno-humeral horizontal extension angle and the scapular posterior tilt, scapular extension, and shoulder abduction angle.

Based on the results of this study, a negative correlation was observed between gleno-humeral horizontal extension angle and scapular extension and posterior tilt angle. During the throwing motion, poor scapular function leads to poor performance and exacerbation of injuries. Based on the above findings, the decreased scapular extension and posterior tile angle indicates “hyperangulation,” during the throwing motion, and increases the risk of throwing injuries.