

学位申請論文

## 三次元的解析装置を使用した上肢挙上・下垂時の 肩甲骨運動

獨協医科大学 整形外科

矢野雄一郎

**要 旨** 上肢挙上時の肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の同期した動きを肩甲上腕リズムと呼ぶ。肩甲骨は胸郭に対して様々な動きをするが、その動きは三次元の複合運動であり、詳細はまだ知られていない。著者は三次元動作解析装置を用いて肩甲骨の動きを明らかにしようと試みた。対象は肩に愁訴のない健常者21人42肩、18歳から34歳（平均23.7歳）であり、上肢挙上・下垂動作を行わせた。挙上に伴い肩甲骨は上方回旋、後方傾斜、内旋し、その角度は利き手側で $37.6 \pm 7.2^\circ$ 、 $37.9 \pm 6.5^\circ$ 、 $36.8 \pm 12.2^\circ$ 、非利き手側で $34.8 \pm 6.8^\circ$ 、 $39.5 \pm 5.9^\circ$ 、 $37.1 \pm 12.0^\circ$ であった。利き手側、非利き手側の間に統計学的有意差はなかった。また挙上初期に下方回旋、もしくは下垂末期に上方回旋する群があり、相対的に肩甲骨上腕関節の動きが大きいので肩甲上腕タイプ（GH type）と分類した。他方、相対的に肩甲骨の動きが大きい群を肩甲胸郭タイプ（ST type）と分類した。本研究から上肢挙上初期の肩甲上腕リズムには2つのタイプあること、肩甲骨の動きには3方向あること、利き手と非利き手間に有意差がないことが明らかとなった。これらの結果は、肩関節疾患において肩甲骨の動きの異常に着目することにより、運動障害の適切な評価が可能になることを示唆する。またその際、左右を比較することに根拠を与えるものであると考える。

**Key Words** : 肩甲骨, 三次元動作解析, 肩甲上腕リズム

### 緒 言

肩関節疾患の診察や治療において肩甲骨の位置や運動の異常をしばしば認める<sup>1,2)</sup>。Warnerは症状の無い被検者の18%、肩関節不安定症の64%、インピンジメント症候群の100%に肩甲骨位置の異常や動きの異常を認めたと述べている<sup>2)</sup>。このように肩関節疾患では肩甲骨位置異常、肩甲骨運動障害などが高頻度で認められる。

上肢挙上時には肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節が同期して動いており、Codmanはこの同期した動きを肩甲上腕リズム（scapulothoracic rhythm, 以下SHR）と呼んだ<sup>3)</sup>。またInmanらはSHRの肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の動きの割合は2:1であると述べた<sup>4)</sup>。それ以降肩甲骨の動きについて様々な研究が行われたが、上方回旋やSHRに着目した二次元での研究がほとんどであった<sup>4,5)</sup>。

しかしPoppenらが肩甲骨には上方回旋の他にも動きがあることを指摘し、肩甲骨の動きは三次元の複合運動であることが知られるようになった<sup>6)</sup>。またmagnetic tracking deviceやMRIを使用した研究でも、上肢挙上時に肩甲骨は上方回旋、後方傾斜、そして内旋すると報告されており、肩甲骨の動きは三次元で表現すべきものである（図1<sup>7-16)</sup>。すなわち肩甲骨の運動には肩甲骨面での上方回旋と下方回旋、矢状面での前方傾斜と後方傾斜、水平面での内旋と外旋がある。本研究の目的の第一は三次元動作解析装置を使用し上肢挙上と下垂における肩甲骨の動きを観察・記録することである。

またInmanらは外転初期の0°から60°までを“setting phase”と名付け、上腕骨の動きを安定させるために肩甲骨が準備をする段階であるとした<sup>4)</sup>。すなわち肩甲骨周囲筋によって肩甲骨が胸郭にしっかりと固定されるためにsetting phaseでは肩甲骨の動きが少ない。したがってsetting phaseのSHRは大きく、60°から最大挙上し下垂60°までのSHRは小さく、下垂60°以下で再度大きくなる<sup>17)</sup>。またsetting phaseでのSHRは非常に不規則であり個体差も大きい<sup>4)</sup>。第二の目的は、このsetting phase

平成20年10月31日受付, 平成20年12月15日受理  
別刷請求先: 矢野雄一郎

〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林880  
獨協医科大学 整形外科

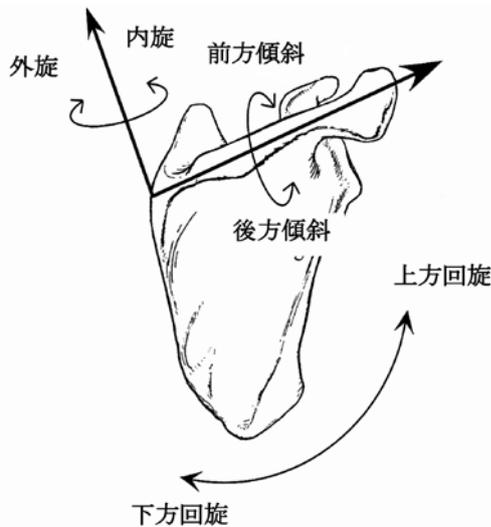


図1 肩甲骨可動域

における肩甲骨の動きを分析し、どのような個体差があるかどうかを明らかにすることである。

## 方 法

この研究は郡山健康科学専門学校の倫理委員会で承認され、またすべての被験者からインフォームドコンセントを得た。

対象は肩に愁訴のない健常者21人（男性17人、女性4人）、平均23.7歳（18から34歳）。平均身長169cm（150から180cm）、平均体重66kg（50から111kg）。右利きは19人、左利きは2人であった。測定前に肩関節不安定性、可動域制限、側彎症、胸郭非対称が無いことを確認した。

測定には体表マーカの位置情報を6つの赤外線カメラで捉える三次元動作解析装置（MAC 3D System, Motion Analysis社、米国）を使用した。体表マーカは直径0.9mmの最小のものを使い、烏口突起、肩峰角、肩甲棘内縁、肩甲骨下角、上腕骨内・外側上顆、第2・7胸椎棘突起、第5腰椎棘突起に貼付した。

被検者を自然立位とし、上肢下垂位から6秒間で挙上、最大挙上位で3秒間静止、その後6秒間で下垂するよう指示した。数度練習させた後に、左右それぞれ5回ずつ測定を行った。データは解析ソフトKineanalyzer（Kissei Comtec社、日本）で解析した。

上腕骨軸は烏口突起と肩峰角の midpoint から上腕骨内側上顆と外側上顆の midpoint を結ぶ直線で示し、肩甲棘内縁と肩峰角を結ぶ直線を肩甲棘、肩甲棘内縁と下角を結ぶ直線を肩甲骨内縁とした。上方回旋は第2胸椎と第5腰椎を結ぶ直線と肩甲棘との肩甲骨面上の角度、後方傾斜は第2胸椎と第5腰椎の midpoint から第7胸椎に向かう直線と肩甲

骨内縁との矢状面上の角度、内旋は後方傾斜と同じ直線の水平面上の角度で求めた（図2）。測定開始時の角度を0°に補正し、上腕骨挙上・下垂10°ごとに肩甲骨の上方回旋、後方傾斜、内旋の角度を求めた。

本研究に先立って三次元動作解析装置のマーカ間の距離や角度について、50cmの距離と90°の角度を静止時と動作時で5回ずつ測定し実測値との誤差を求めた。またX線撮影により、肩甲骨面上での上肢挙上に伴う体表マーカと骨との距離を調べた。さらに3人6肩の健常人（男性3人、22歳から30歳）で測定の再現性を検討した。左右5回ずつランダムに挙上下垂動作を行わせ、1週間後に再度測定した。上方回旋、後方傾斜、内旋の3つの動きの級内相関係数を求めた。

挙上角度ごとの相違を検出する為に2群間の検定にはすべてWilcoxonの符号付き順位検定、利き手側と非利き手側の相違については一元配置分散分析で比較検討した。

解析はすべてSPSS 16（SPSS Inc.米国）を使用し、 $P < 0.05$ を有意差ありとした。

## 結 果

三次元動作解析装置の平均測定誤差は、50cmの距離が静止時で0.07mm、動作時で0.42mm、90°の角度が静止時で0.13°、動作時で0.62°であった。X線写真における体表マーカと骨との距離は、最大挙上時で肩甲棘内縁が $1.2 \pm 1.0$ cm、肩峰角が $0.7 \pm 0.6$ cm、烏口突起が $0.8 \pm 1.0$ cm、上腕骨内側上顆、外側上顆は0.5cm以内であった。また再現性は上方回旋の級内相関が0.99から1.0、後方傾斜が0.97から0.99、内旋が0.78から0.98であった。

上肢最大挙上角は利き手側で平均135°（125-150°）、非利き手側で135°（123-153°）であった。上肢挙上・下垂時の肩甲骨上方回旋、後方傾斜、内旋を図3、4、5に示す。上方回旋、後方傾斜、内旋の最大角度は利き手側でそれぞれ $37 \pm 7^\circ$ 、 $38 \pm 6^\circ$ 、 $37 \pm 12^\circ$ 、非利き手側で $35 \pm 7^\circ$ 、 $40 \pm 6^\circ$ 、 $37 \pm 12^\circ$ であった。利き手側と非利き手側との間に統計学的な有意差は認めなかった。肩甲骨下角は最大挙上すると利き手側で横方向へ $13 \pm 2$ cm、上方へ $2 \pm 2$ cm、非利き手側は横方向へ $12 \pm 2$ cm、上方へ $2 \pm 2$ cmと主に横方向への移動を認めた。

挙上初期の肩甲骨上方回旋角度の個体差を検討すると、42肩のうち21肩で肩甲骨が一度下方回旋をした後に上方回旋し、残る21肩では下方回旋がみられなかった。また下垂末期は26肩で上方回旋して下垂が終了し、16肩で上方回旋がみられなかった（表1）。本研究では挙上初期に肩甲骨が下方回旋する群、もしくは下垂末期に上方回旋する群を、相対的に肩甲骨上腕関節の動きが多いこ



図2 角度設定

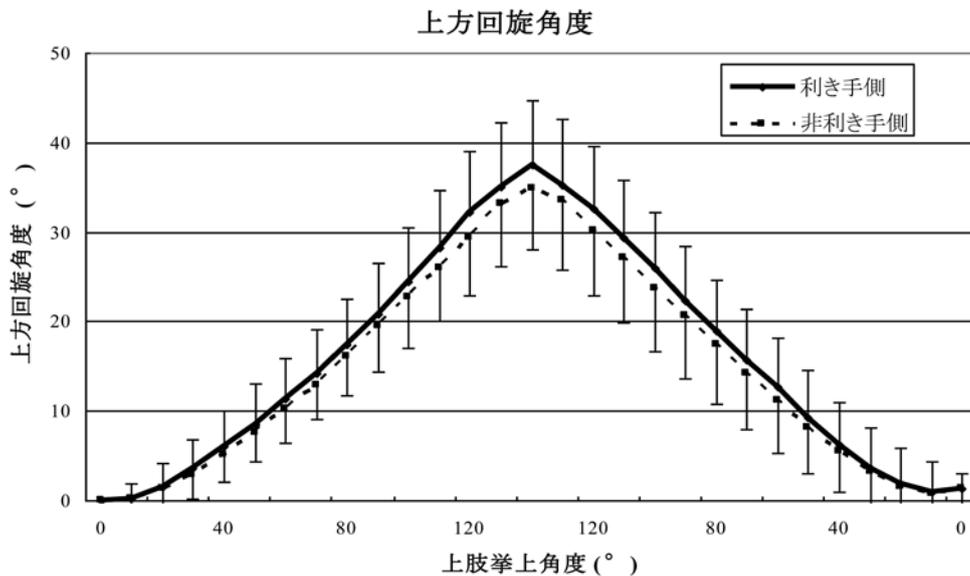


図3 肩甲骨上方回旋

とから肩甲上腕タイプ (GH type) と名づけ、逆に相対的に肩甲骨の動きが大きい群を肩甲胸郭タイプ (ST type) と名づけた。ST typeの肩甲骨上方回旋角度はGH typeより大きく、統計学的に有意差を認めた(図6)。挙上時に両側ともGH typeであったのは8人、両側ともST typeであったのは8人、残る5人は左右でタイプが異なった。また下垂時は9人が両側GH type、4人が両側ST type、8人は左右でタイプが異なった。

### 考 察

肩甲骨の運動学は様々な方法で研究されているが、多くはX線を使用した二次元での研究であった<sup>1,4,6,18)</sup>。近年の三次元的な運動解析によると、肩甲骨は上肢挙上に伴い上方回旋、後方傾斜、内旋すると記されている<sup>7)</sup>。本研究でもこの3種類の運動が起こることが観察された。またPoppenとBaggが指摘したように、上肢挙上時に肩

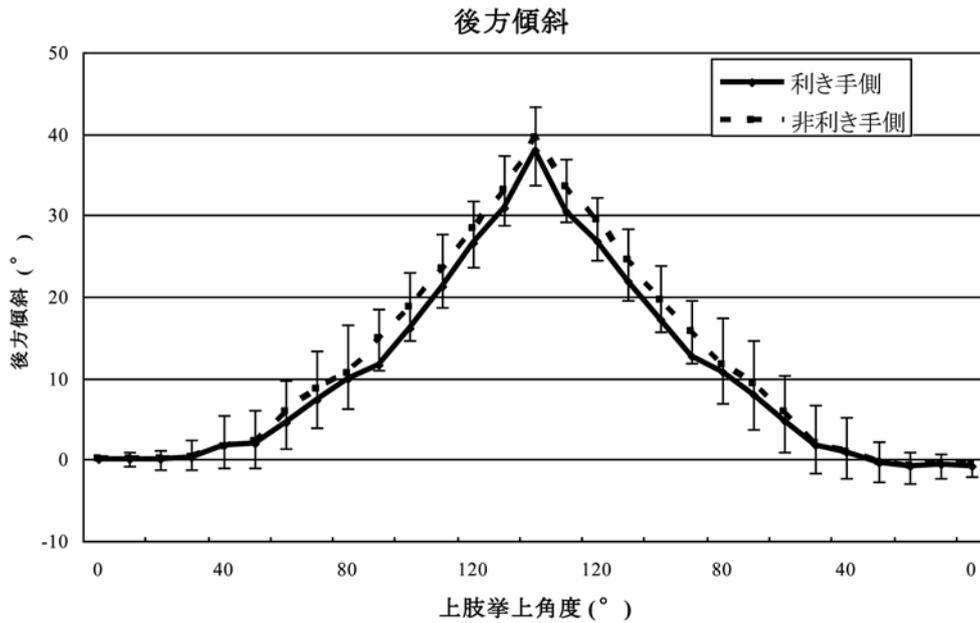


図4 肩甲骨後方傾斜

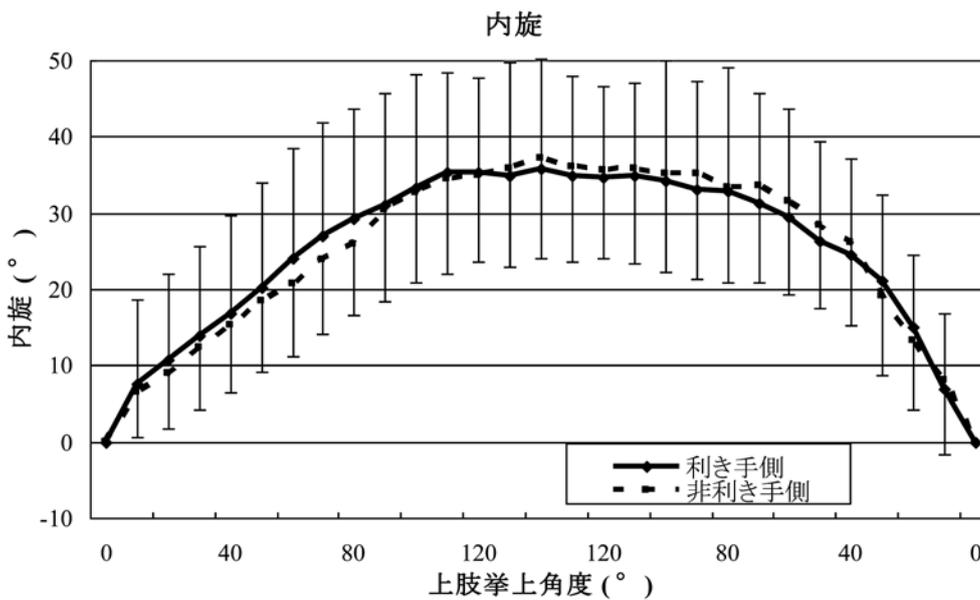


図5 肩甲骨内旋

甲骨下角が主に横方向に移動することも明らかとなった<sup>5,6)</sup>。これは上述の肩甲骨の3種類の動きが複合された結果であると考えられる。

しかし筆者が測定した3種類の肩甲骨の運動角度は、過去の結果と同じではなかった。肩甲骨面の挙上120°までに生じる動きを例にとって過去の報告と本研究とを比較すると、上方回旋は29°～49°(本研究31°)、後方傾斜は7°～37°(本研究28°)、内旋は8°～43°(本研究35°)であった(表2)<sup>7～12,15,19～22)</sup>。このような違いがみられたのは、被検者の年齢、挙上・下垂のスピード、測定装置、

測定軸の定義、体幹の位置設定、運動開始時の角度設定、解析法などが異なるためではないかと推定される。しかし予備研究で確認したとおり本研究における測定値の再現性は良好であり、本研究における測定条件下で得られた結果としては、信頼できるものと考えられる。

肩甲骨の3方向の運動のうち上方回旋角は、SHRにおける肩甲骨の動きに相当する<sup>3,4,6,18)</sup>。本研究ではInmanの述べたsetting phase、すなわち挙上初期(0°～60°)に、肩甲骨が下方回旋するGH typeと上方回旋するST typeとが認められた<sup>4)</sup>。三次元的かつ定量的にこのよう

表 2 挙上120°での肩甲骨可動域の過去報告との比較

著者	方法	肩甲骨可動域 (°)		
		上方回旋	後方傾斜	内旋
Freedman et al, 1966	2次元X線, 立位, 静的	49	N.A.	N.A.
Poppen et al, 1976	2次元X線, 立位, 静的	42	N.A.	N.A.
Bagg et al, 1988	2次元ハイスピードカメラ 立位, 静的	44	N.A.	N.A.
Ludewing et al, 1996	3次元電気機械デジタル 座位, 動的 (挙上 140°)	36	7	20
Lukasiewicz et al, 1999	3次元電磁石デジタル 立位, 動的	38	37	43
Graichen et al, 2000	3次元MRI, 仰臥位, 静的	36	16	27
McClure et al, 2001	3次元電磁石デジタル 立位, 動的	38	37	43
Dayanidhi et al, 2005	3次元電磁石デジタル 立位, 動的	29	7	8
Bourne et al, 2007	3次元電磁石デジタル 立位, 動的	49	44	27
本研究 (矢野ら)	3次元動作解析, 立位, 動的	31	28	35

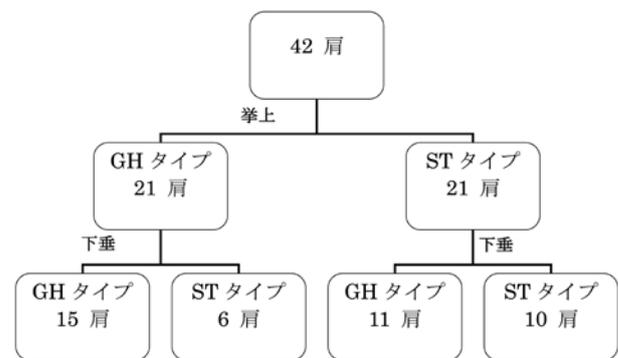
N.A. not applicable

な2つのパターンがあることを明らかにした報告は過去にはない。一方、下垂末期のSHRについても過去には詳細な報告がないが、本研究では挙上初期同様、相対的に肩甲骨関節の動きが大きいGH typeと、肩甲骨胸関節の動きが大きいST typeとが認められた。

本研究ではこのようなsetting phaseの個体差が生じる理由を明らかにすることはできなかったが、筋活動に何らかの違いがある可能性がある。肩関節外転時の僧帽筋、三角筋、前鋸筋の筋電図的検討によると、三角筋は主に肩甲骨関節を、僧帽筋の上・中部線維は肩甲骨上方回旋を、前鋸筋は肩甲骨の上方回旋、内旋、後方傾斜を行っていることが知られている<sup>3~5,8~11,18,20,21,23~26</sup>。特に三角筋は挙上初期の肩甲骨上方回旋の拮抗筋として働くため、三角筋と僧帽筋上・中部線維との間に、力の不均衡や収縮時間のずれがあれば、挙上初期の肩甲骨の上方回旋が乏しいGH typeになると予想される。また下垂末期に下垂を減速するために三角筋が強く収縮すると肩甲骨の上方回旋が生じ、相対的に肩甲骨関節の動きの大きいGH typeになりうるのではないかと予想される。しかしこれらを実証するには、三次元運動解析と同時に筋電図による評価も必要であり、今後の課題と考えている。

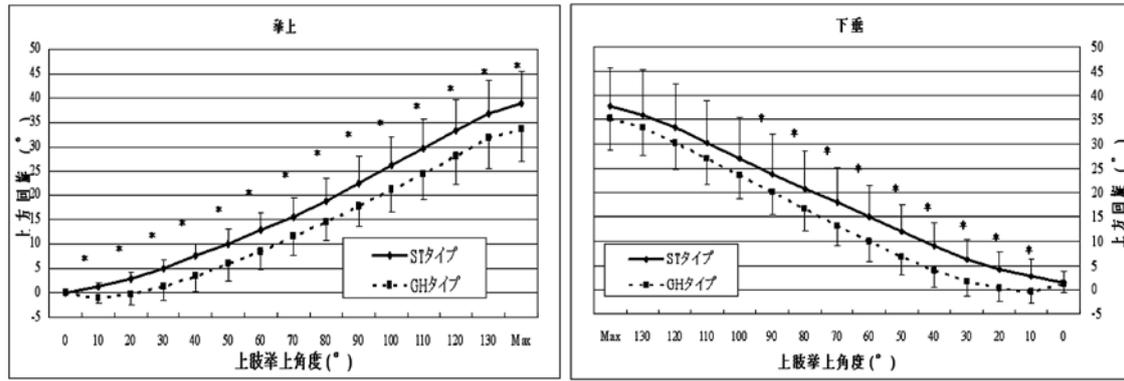
肩甲骨の他の動き、すなわち後方傾斜については、挙上60°までは緩徐に、60°以降は大きく後方傾斜が起こり、下垂時にも60°までは大きく、60°以下では緩徐に前方傾斜が生じていた(図4)。内旋は上方回旋や後方傾斜

表 1 肩甲骨腕タイプ (GHタイプ) と肩甲骨胸タイプ (STタイプ) 分類



とは異なり、最大挙上位で鋭いピークを示さず、挙上角度に伴って緩やかな変化を呈した(図5)。肩甲骨後方傾斜は臨床的には、挙上時に上腕骨頭と腱板とが肩峰下面に衝突するのを回避する意義があると思われるが、真の意義は不明である。

この研究にはいくつかの弱点がある。まず被検者が若い健康者のみで、肩の障害を起こしやすい中高年者を調査していないことがあげられる。第2に、比較的ゆっくりとしたスピードで、肘関節を伸展したまま挙上・下垂させたことは、日常生活での動作とは多少かけ離れているかもしれない。第3に静止時に貼付した体表マーカーを用いて動的な測定を行っており、動きの中では体表マーカーと骨との間に距離があったかもしれない点である。



\* : 統計学的有意差あり (P<0.05)

図6 肩甲骨上方回旋 (ST typeとGH typeの比較)

MatsuiらはMRIを使用し上肢最大挙上する間に体表マーカーと骨との距離が肩甲棘内縁で $86.8 \pm 28.1$  mm, 肩峰角で $52.3 \pm 14.3$  mmであったと報告した<sup>27)</sup>. この結果は軟部組織を含めた体表と骨との距離であり, 著者がX線で確認した肩甲骨面での距離はMatsuiらの結果より小さいものであった. しかし著者がX線で確認した以上の距離があったかもしれない可能性はある.

本研究から明らかになったことは, 1) 肩甲骨には3方向の動きがあること, 2) 上肢挙上に伴い肩甲骨下角は横方向に動いていること, 3) 上肢挙上初期および下垂末期の肩甲骨の動きには2つのパターンがあること, 4) 利き手と非利き手の間で肩甲骨の動きに差がないこと, などである. 本研究の結果は, 肩甲胸郭関節と肩甲上腕関節との協調運動を三次元的, 定量的に捉えうることを示している. したがって臨床においても近い将来, 肩関節障害における肩甲骨の位置や動きの異常を, 従来よりも正確に把握できる可能性がある. また本研究の結果は, 肩を診察する際に左右を比較することが合理的であるという根拠を与えるものであると言える.

**謝 辞** 稿を終えるにあたり, 本研究に対しご指導賜りました獨協医科大学早乙女紘一名誉教授, 整形外科野原裕教授, また, 直接ご指導ご高閲を賜りました整形外科玉井和哉教授, 桑野協立病院副院長浜田純一郎先生, ご協力頂きました整形外科教室の皆様には深謝いたします.

## 文 献

- 1) Kibler WB, Uhl TL, Maddux JWQ, et al : Qualitative clinical evaluation of scapular dysfunction : a reliability study. *J Shoulder Elbow Surg* **11** : 550-556, 2002.
- 2) Warner JJP, Micheli LJ, Arslanian LE, et al : Scapu-

lothoracic motion in normal shoulders and shoulder with glenohumeral instability and impingement syndrome. *Clin Orthop* **285** : 191-199, 1992.

- 3) Codman EA : *The shoulder*. Boston : Thomas Todd : p.32-64, 1934.
- 4) Inman VT, Saunders J BM, Abbott LC : Observation on the function of the shoulder joint. *J Bone J Surg* **26** : 1-31, 1944.
- 5) Bagg SD, Forrest WJ : A biomechanical analysis of scapular rotation during arm abduction in the scapular plane. *Am J Phys Med Rehabil* **67** : 238-245, 1988.
- 6) Poppen NK, Walker PS : Normal and abnormal motion of the shoulder. *J Bone Joint Am* **58** : 195-201, 1976.
- 7) Ludewig PM, Cook TM, Nawoczenski DA : Three-dimensional scapular orientation and muscle activity at selected positions of humeral elevation. *J Orthop Sports Phys Ther* **24** : 57-65, 1996.
- 8) Borstad JD, Ludewig PM : Comparison of scapular kinematics between elevation and lowering of the arm in the scapular plane. *Clin Biomech* **17** : 650-659, 2002.
- 9) Bourne DA, Choo AMT, Regan WD, et al : Three-dimensional rotation of the scapula during functional movements : A vivo study in healthy volunteers. *J Shoulder Elbow Surg* **16** : 150-162, 2007.
- 10) Dayanidhi S, Orlin M, Kozin S, et al : Scapula kinematics during humeral elevation in adults and children. *Clin Biomech* **20** : 600-606, 2005.
- 11) Finley MA, Lee RY. Effect of sitting posture on 3-dimensional scapular kinematics measured by skin-mounted electromagnetic tracking sensors. *Arch Phys Med Rehabil* **84** : 563-568, 2003.

- 12) McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, et al : Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movement in vivo. *J Shoulder Elbow Surg* **10** : 269-277, 2001.
- 13) McQuade KJ, Smidt GL. Dynamic scapulohumeral rhythm : The effects of external resistance during elevation of the arm in the scapular plane. *J Orthop Sports Phys Ther* **27** : 125-133, 1998.
- 14) Thigpen CA, Gros MT, Karas SG, et al : The repeatability of scapular rotations across three planes of humeral elevation. *Res Sports Med* **13** : 181-198, 2005.
- 15) van der Helm FCT, Pronk GM : Three-dimensional recording and description of motions of the shoulder mechanism. *J Biomech Eng* **117** : 27-40, 1995.
- 16) 森脇正之 : 肩甲骨および肩甲上腕関節の三次元運動の分析 日本整形外科学会雑誌 **66** : 675-687, 1992.
- 17) 矢野雄一郎, 浜田純一郎, 玉井和哉, 他 : 健常人は利き腕と非利き腕を同じパターンで挙上・下垂するか? 肩関節 **32** : 241-244, 2008.
- 18) Freedman L, Munro RR : Abduction of the arm in scapular plane : Scapular and glenohumeral movements. *J Bone Joint Surg Am* **48** : 1503-1510, 1966.
- 19) Lukasiewicz AC, McClure L, Pratt N, et al : Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. *J Orthop Sports Phys Ther* **29** : 574-586, 1999.
- 20) Fung M, Kato S, Barrance PJ, et al : Scapular and clavicular kinematics during humeral elevation : A study with cadavers. *J Shoulder Elbow Surg* **10** : 278-285, 2001.
- 21) Graichen H, Stammberger T, Bonel H, et al : Eckstein F. Magnetic resonance based motion analysis of the shoulder during Elevation. *Clin Orthop* **370** : 154-163, 2000.
- 22) Rundquist PJ : Alterations in scapular kinematics in subjects with idiopathic loss of shoulder range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther* **37** : 19-25, 2007.
- 23) Cathcart CW : Movements of the shoulder girdle involved in those of the arm on the trunk. *J Anat Physiol* **18** : 211-218, 1884.
- 24) Happee R, Van der Helm FTC : The control of the shoulder muscles during goal directed movements, an inverse dynamic analysis. *J Biomech* **17** : 1179-1191, 1995.
- 25) Ito N : Electromyographic study of shoulder joint. 日本整形外科学会雑誌 **54** : 1529-40, 1980.
- 26) 朝長匡 : 肩関節挙上運動の筋電図学的検索. 日本整形外科学会雑誌 **62** : 617-626, 1988.
- 27) Matsui K, Shimada K, Andrew P : Deviation of skin marker from bone target during movement of the scapula. *J Orthop Sci* **11** : 180-184, 2006.