

## 上肢挙上運動時の負荷が肩甲骨および 体幹の運動に及ぼす影響

### *Influence of Different Arm External Loads on Kinematics of Scapular and Trunk during Arm Elevation*

上田 泰之<sup>1)</sup> 浦辺 幸夫<sup>2)</sup> 山中 悠紀<sup>2)</sup> 宮里 幸<sup>3)</sup> 野村 真嗣<sup>2)</sup>

YASUYUKI UEDA, PT, MS<sup>1)</sup>, YUKIO URABE, PT, PhD<sup>2)</sup>, YUKI YAMANAKA, PT, PhD<sup>2)</sup>,  
MIYUKI MIYAZATO, PT, MS<sup>3)</sup>, SHINJI NOMURA, PT<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Rehabilitation, Nobuhara Hospital: 720 Haze, Issai, Tatsuno City, Hyogo 679-4017, Japan.  
TEL +81 791-66-0981

<sup>2)</sup> Department of Sport Rehabilitation, Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University

<sup>3)</sup> Department of Rehabilitation, Kyushu University Hospital

*Rigakuryoho Kagaku* 24(3): 323-328, 2009. Submitted Oct. 31, 2008. Accepted Jan. 7, 2009.

**ABSTRACT:** [Purpose] The purpose of this study was to investigate the influence of the magnitude of external loads on the arm on the orientation of the scapula and trunk during arm elevation in the scapular plane. [Subjects] Fifteen healthy subjects participated in this study. [Methods] We measured the angle of scapular upward rotation, scapular posterior tilt, thoracic extension, lumbar extension and pelvic anterior tilt with four levels of external loads (0 kg, 2 kg, 4 kg, 6 kg) at 0, 30, 60, 90, 120, 150 degrees of arm elevation and maximum arm elevation. Kinematic data were collected using four digital video cameras. [Results] With 6 kg at 150° and maximum elevation, scapular upward rotation was greater than in the normal condition. We observed significant increases of thoracic extension with 4 kg and 6 kg at 60° and 90°, and significant differences between 2-6 kg loads and the normal condition over 120°. [Conclusion] The results suggest that the magnitude of the arm external load affects scapular upward rotation and thoracic extension.

**Key words:** arm elevation, trunk kinematics, external load

**要旨:** [目的] 本研究は、上肢挙上運動時にさまざまな負荷を与えた際の肩甲骨および体幹の運動を分析することにより、どの程度の負荷量が肩甲骨上方回旋、後傾運動および体幹伸展運動を増大させるかを明らかにすることを目的とした。[対象] 対象は肩関節に疼痛の訴えない健康成人男性15名とした。[方法] 無負荷、2 kg、4 kg、6 kgを上肢に負荷した状態での上肢挙上動作を、デジタルビデオカメラにて撮影し、肩甲骨上方回旋角度、肩甲骨後傾角度、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度を算出した。[結果] 肩甲骨上方回旋角度は上肢挙上角度150°以降で6 kgの負荷が無負荷より有意に大きかった。胸椎伸展角度は上肢挙上角度60°、90°で4 kg、6 kgの負荷が無負荷より有意に大きく、上肢挙上角度120°以降では2 kg、4 kg、6 kgの負荷が無負荷より有意に大きかった。[結語] 負荷を与えた上肢挙上動作では、肩甲骨上方回旋に加え、胸椎伸展運動も大きくなっていた。

**キーワード:** 上肢挙上動作、体幹運動、重量負荷

<sup>1)</sup> 信原病院 リハビリテーション科：兵庫県たつの市揖西町土師720 (〒679-4017) TEL 0791-66-0981

<sup>2)</sup> 広島大学大学院 保健学研究科

<sup>3)</sup> 九州大学病院 リハビリテーション部

## I. 緒 言

上肢挙上動作において、上腕骨と肩甲骨は連動している。Codman<sup>1)</sup>がこのメカニズムをscapulohumeral rhythmと提唱し、Inmanら<sup>2)</sup>は肩関節挙上時に上腕骨と肩甲骨が2:1という一定のリズムになっていると報告した。その後、この上腕骨と肩甲骨の連動は肩関節疾患や<sup>3,4)</sup>、運動速度<sup>5)</sup>、上肢への負荷<sup>6,7)</sup>などにより変化することが明らかとなってきた。また、肩甲骨は胸郭と関節軟骨面を構成しないが、機能的な関節をなすため<sup>8)</sup>、胸郭と連続する脊柱の運動についても肩関節に影響を及ぼすとして運動分析が行われてきた<sup>9,10)</sup>。しかし、これらの運動分析は上肢に負荷を与えない条件下での分析が多く報告されているが、臨床場面では物体を挙上する際に肩関節の疼痛を訴えることが多い。実際に疫学的調査により、物体を片手で持ち上げる動作は肩関節疾患のリスクとなることが報告されており<sup>11-13)</sup>、物体を持ち上げる際には持たないときと比較し、肩関節に負荷が加わると推測される。そのため、どの程度の負荷量により肩関節に負荷が加わるのかを明らかにすることは、肩関節疾患の予防を考えるうえで重要である。

先行研究において、Doodyら<sup>6)</sup>は25名の健常女子大学生を対象に、2.2 kgの負荷を与えた上肢挙上動作では肩甲骨上方回旋が大きくなると報告し、Augustoら<sup>7)</sup>は30名の健常成人では、4.0 kgの負荷で肩甲骨後傾運動が大きくなったとしている。しかし、健常成人を対象に、2.0～4.0 kgの負荷を与えても肩甲骨上方回旋および後傾運動は変化しないという報告もある<sup>5)</sup>。このように、どの程度の負荷量により肩甲骨の上方回旋および後傾運動が変化するかについては統一した見解が得られていない。加えて、負荷を与えた条件下での上肢挙上時の体幹の運動を分析したものについては、我々が涉猟しえた限りでは報告されていない。

本研究は、上肢挙上時に異なる負荷強度を設定した場合の肩甲骨および体幹の運動を分析することにより、肩甲骨の上方回旋、後傾運動および体幹伸展運動がどの程度の負荷量で増大するかを明らかにすることを目的とした。

## II. 対象および方法

### 1. 対象

本研究に対し同意の得られた健常成人男性15名（年齢 $23.0 \pm 1.6$ 歳，身長 $174.1 \pm 5.5$  cm，体重 $64.4 \pm 6.7$  kg）を対象とした。対象には事前に研究の説明を行い、同

意を得て行った。左右肩関節に整形外科的疾患の既往、または運動機能障害がないことを事前に確認した。なお、本研究は広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を得て行われた（承認番号0705）。

### 2. 方法

上肢挙上動作は、立位にて足部を肩幅に合わせて置き、膝関節を伸展し、前方を注視するよう指示し行われた。負荷のない状態とダンベルを把持した状態で、利き手側の上肢を肩甲骨面において下垂位から最大挙上位まで挙上させた。ダンベルの重さは2 kg, 4 kg, 6 kgとし、上肢挙上速度はメトロノームに合わせて3秒で最大挙上位に達するよう指示した。対象には十分な練習を行わせた後に各負荷一回の本測定を実施し、分析した。なお、上肢最大挙上角度は、無負荷で $170.7 \pm 7.3^\circ$ 、2 kg, 4 kg, 6 kgの各負荷で、 $170.9 \pm 7.7^\circ$ 、 $171.4 \pm 7.2^\circ$ 、 $170.7 \pm 7.6^\circ$ であり、負荷量により上肢挙上角度に有意な差はみられなかった。

運動分析は、宮下<sup>14-16)</sup>の方法を参考にした。マーカーを利き手側の肘頭、C7・Th6・L1・L3・L5棘突起、第10肋骨角、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大転子、大腿骨外側上顆に貼付した。さらに肩峰には肩峰の形状に沿ってT字型パッドを前後方向に貼付した。T字型パッドは、ウレタン素材のテーピングパッド（日東電工社ニトリートテーピングパッド）を1 cm × 1 cm × 10 cmに裁断した2つの直線型パッドよりT字型にパッドを組み合わせ、3つの先端に反射マーカーを貼付した。対象の上肢挙上側にデジタルビデオカメラ4台を設置し毎秒60コマにて撮影を行い、得られた画像をパーソナルコンピュータに取り込んだ。三次元動作解析ソフトFrame-DIAS II（DKH社）を用い60 Hzで各マーカーを自動追尾し、Direct Linear Transformation Method（DLT法）<sup>17)</sup>により三次元座標値を求めた。得られた値から上肢挙上角度、肩甲骨上方回旋角度、肩甲骨後傾角度、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度を以下のように算出した。

上肢挙上角度は肘頭、肩峰に貼付したT字型パッドの後外側・内側の3点からなる平面の法線ベクトルと、T字型パッドの後外側・内側の2点と第10肋骨角の3点からなる平面の法線ベクトルを算出し、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2つの面のなす角度を算出した（図1A）。このように、上肢挙上角度は体幹に対する角度を求めた。肩甲骨上方回旋角度は肩峰に貼付したT字型パッドの各先端の3点からな

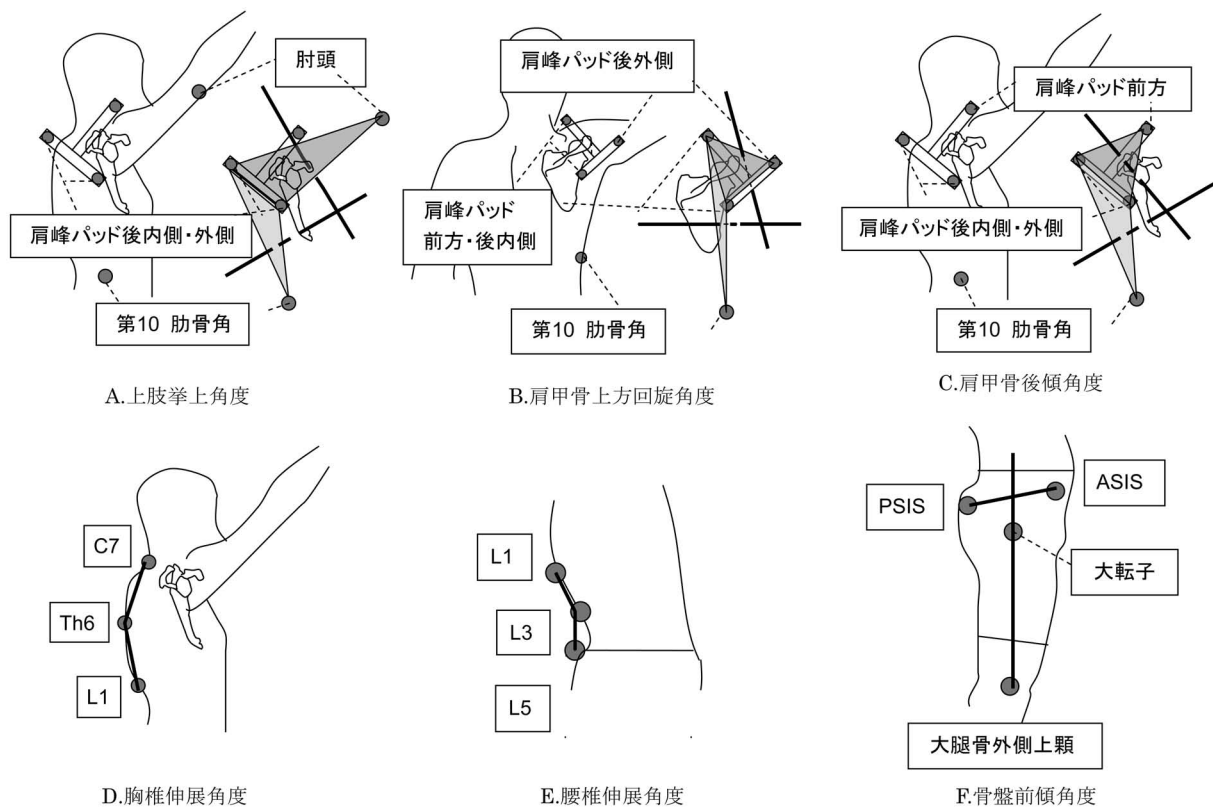


図1 各角度算出方法

る平面の法線ベクトルと、T字型パッドの前方と後内側の点と、第10肋骨角の3点からなる平面の法線ベクトルを算出し、以下上肢挙上角度と同様に2つの平面のなす角度を算出した(図1B)。肩甲骨後傾角度は肩峰に貼付したT字型パッドの各先端の3点からなる平面の法線ベクトルと、T字型パッドの後外側・内側の2点と第10肋骨角の3点からなる平面の法線ベクトルを算出し、以下同様に2つの平面のなす角度を算出した(図1C)。胸椎伸展角度はC7棘突起とTh6棘突起を結んだ直線ベクトルと、Th6棘突起とL1棘突起とを結んだ直線ベクトルの内積を求め、その余弦からこの2線のなす角度を算出した(図1D)。腰椎伸展角度はL1棘突起とL3棘突起を結んだ直線ベクトルと、L3棘突起とL5棘突起とを結んだ直線ベクトルの内積を求め、その余弦からこの2線のなす角度を算出した(図1E)。骨盤前傾角度は上前腸骨棘と上後腸骨棘を結んだ直線ベクトルと、大転子と大腿骨外側上顆とを結んだ直線ベクトルの内積を求め、その余弦からこの2線のなす角度を算出した(図1F)。なお肩甲骨上方回旋角度、肩甲骨後

傾角度、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度はそれぞれ上肢挙上角度0°の肢位を基準とするために、各上肢挙上角度の値から、0°の肢位における値を引いた。

統計学的検定にはStat View J 5.0(SAS Institute Inc.USA)を使用した。上肢挙上角度30°、60°、90°、120°、150°、最大挙上の各条件において、負荷強度の違いによる上肢挙上時の肩甲骨上方回旋角度、肩甲骨後傾角度、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度を比較した。検定には一元配置分散分析を用い、多重比較検定としてTurkey-kramer法を使用した。いずれも危険率5%未満を有意とした。

### III. 結果

肩甲骨上方回旋角度は上肢挙上角度30°から120°までは、無負荷と各負荷で有意な差はみられなかったが、上肢挙上角度150°および最大挙上では6kgの負荷が無負荷より有意に大きかった(表1, p<0.05)。胸椎伸展角度は上肢挙上角度30°では負荷量による有意な変化はみ

表1 各負荷量, 上肢挙上角度に対する測定値

		上肢挙上角度					
		30°	60°	90°	120°	150°	最大挙上
肩甲骨	[0 kg]	1.1 ± 5.0	11.6 ± 9.8	20.4 ± 9.4	27.1 ± 12.7	34.4 ± 16.7	38.1 ± 17.2
上方回旋角度	[2 kg]	3.6 ± 2.6	14.4 ± 0.4	24.4 ± 9.4	32.2 ± 12.4	38.7 ± 16.0	41.8 ± 16.7
	[4 kg]	1.3 ± 6.4	11.9 ± 10.1	21.9 ± 14.5	33.7 ± 19.9	40.2 ± 23.5	42.5 ± 25.7
	[6 kg]	2.5 ± 2.3	14.8 ± 11.1	23.2 ± 11.1	34.6 ± 17.0	43.4 ± 23.8*	46.7 ± 24.7*
肩甲骨	[0 kg]	2.8 ± 7.5	7.2 ± 9.1	12.8 ± 10.1	19.3 ± 12.0	27.1 ± 12.0	28.9 ± 13.9
後傾角度	[2 kg]	-1.5 ± 6.3	5.1 ± 14.1	10.1 ± 15.9	17.7 ± 14.9	24.1 ± 15.4	24.8 ± 15.6
	[4 kg]	2.7 ± 12.3	8.7 ± 15.8	14.8 ± 14.8	22.3 ± 16.9	28.4 ± 17.1	30.0 ± 18.9
	[6 kg]	-1.6 ± 7.0	3.3 ± 11.3	10.2 ± 11.3	16.8 ± 12.3	25.8 ± 16.0	26.4 ± 16.2
胸椎	[0 kg]	-0.3 ± 1.3	-0.1 ± 1.4	0.6 ± 1.5	1.5 ± 1.9	3.5 ± 2.0	4.4 ± 2.7
伸展角度	[2 kg]	-0.3 ± 0.9	0.6 ± 1.2	1.6 ± 1.5	3.0 ± 1.5*	4.8 ± 1.7*	6.0 ± 4.2*
	[4 kg]	0.6 ± 0.7	1.7 ± 1.1*	2.9 ± 1.0*	4.8 ± 1.4*	6.1 ± 1.5*	5.9 ± 2.9*
	[6 kg]	0.4 ± 1.3	1.9 ± 1.2*	4.6 ± 1.8*	6.0 ± 2.2*	7.2 ± 2.8*	7.5 ± 2.8*
腰椎	[0 kg]	1.0 ± 3.5	0.2 ± 3.5	-0.4 ± 3.4	0.1 ± 5.3	-0.2 ± 5.8	0.1 ± 4.8
伸展角度	[2 kg]	1.9 ± 3.8	1.6 ± 4.3	1.6 ± 2.8	1.1 ± 4.2	1.4 ± 5.0	1.5 ± 4.1
	[4 kg]	0.5 ± 3.4	-1.5 ± 5.6	0.1 ± 3.1	0.5 ± 2.9	-1.0 ± 4.5	-1.0 ± 4.0
	[6 kg]	-1.3 ± 3.7	-0.4 ± 6.3	-0.5 ± 5.2	0.4 ± 4.7	-0.1 ± 4.8	0.1 ± 5.8
骨盤	[0 kg]	0.6 ± 2.0	0.8 ± 2.3	0.8 ± 2.3	0.6 ± 2.5	0.6 ± 2.4	0.1 ± 2.7
前傾角度	[2 kg]	0.2 ± 3.0	0.6 ± 2.8	0.4 ± 2.6	0.3 ± 2.7	0.4 ± 2.7	0.4 ± 2.7
	[4 kg]	1.4 ± 3.7	1.7 ± 3.7	1.3 ± 4.0	1.0 ± 4.7	0.8 ± 5.0	1.0 ± 4.9
	[6 kg]	0.2 ± 1.4	0.4 ± 1.7	-0.7 ± 2.5	-0.7 ± 3.3	-0.9 ± 3.3	-0.6 ± 2.9

\*: p<0.05 0 kg と比較し有意差あり

られなかったが, 上肢挙上角度60°および90°では4 kg, 6 kg の負荷が無負荷より有意に大きく (p<0.05), さらに上肢挙上角度120°から最大挙上では2 kg, 4 kg, 6 kg の負荷が無負荷より有意に大きかった (表1, p<0.05)。肩甲骨後傾角度, 腰椎伸展角度, 骨盤前傾角度では全ての上肢挙上角度において負荷量により有意な差をみとめなかった (表1)。

#### IV. 考 察

本研究において, 肩甲骨上方回旋は無負荷と比較し, 6 kg の負荷を与えた際, 上肢挙上角度150°以上で有意な増加がみられた。McQuadeら<sup>18)</sup>は最大負荷の90%の負荷を与えた上肢挙上動作時に肩甲骨上方回旋は大きくなったとし, また, 2~4 kg の負荷では肩甲骨上方回旋は変化しなかったとの報告もあり<sup>5)</sup>, いずれも本研究の結果と一致した。肩甲骨上方回旋の増加がおこる理由としては, 三角筋の筋長を増加させることや, 肩峰下でのインピンジメントを防ぐためであると考えら

れる<sup>19,20)</sup>。しかし三角筋は肩関節挙上角度90°付近で最大の筋力を発揮し<sup>8)</sup>, その後挙上するにつれその活動は減退する。さらに肩峰下でのインピンジメントは上肢挙上角度60°から120°でおこることから<sup>8)</sup>, これらが本研究でみられた上肢最大挙上における肩甲骨上方回旋増加の理由とは考えがたい。上肢最大挙上時には肩甲骨上方回旋に作用する僧帽筋や前鋸筋の筋活動が高まることが報告されていることから<sup>8,9)</sup>, 6 kg という負荷に対しこれらの筋活動が0~4 kg の負荷を与えた条件より大きくなったために肩甲骨上方回旋が大きくなったのではないかと考える。僧帽筋や前鋸筋は上肢最大挙上で活動が高まるのみでなく負荷量の増加, 特に4 kg をこえる負荷時には, さらにその筋活動を高めていると予測されるが, 本研究では筋電図による解析を行っていないため, 今後の課題としたい。一方でDoodyら<sup>6)</sup>は2.2 kg の負荷で肩甲骨上方回旋は増加したと報告しており, Augustoら<sup>7)</sup>は4.0 kg の負荷で肩甲骨後傾運動が増加したと報告している。これらの報告は本研究の結果と反しているが, この理由として, 先行研究では

肩関節外転や屈曲動作で行われていたことが影響したと考えられる。本研究は肩甲骨面での上肢挙上動作であり、この面での上肢挙上動作では肩甲棘と上腕骨軸が適合し、三角筋と棘上筋の牽引方向が合致するため上腕骨および肩甲骨が最も効率よく運動するといわれている<sup>8)</sup>。そのため肩甲骨面での上肢挙上動作では4 kgまでの負荷では肩甲骨の運動を変化させることなく運動を遂行できたのではないかと考える。

次に上肢挙上動作時の負荷による胸椎伸展運動の増加について考察する。2 kgの負荷では上肢挙上角度120°以降、4 kg、6 kgの負荷では上肢挙上角度60°以降胸椎伸展運動が有意に増加した。今回、同じ矢状面の運動である肩甲骨後傾運動は負荷量により変化しなかったことから、物体を挙上する際には胸椎伸展運動が大きく貢献している可能性が考えられる。また、負荷量の増加に伴い、より上肢挙上早期で胸椎伸展運動が大きくなるという特徴がみられた。これは4 kg以上の負荷が与えられた状態でモーメントアームが最も大きくなる上肢挙上角度90°付近を挙上するためには、胸椎伸展運動による貢献が大きくなるためと考えた。

本研究では肩甲骨後傾、腰椎伸展、骨盤前傾運動に上肢挙上時の負荷による影響をみとめなかった。我々は負荷を与えない片側での上肢挙上動作では、腰椎伸展運動はほとんどおこらないが、上肢挙上角度120°以降、骨盤前傾運動がおこることを以前報告した<sup>22)</sup>。よって、腰椎伸展運動に関しては、上肢挙上動作への関与が少ないために、負荷による影響もみられなかったと考えられる。しかし、骨盤前傾運動に関しては本研究と結果が異なっていた。これは、本研究では動的な運動分析であったのに対し、先行研究では上肢を一定の角度で静止させた静的な運動分析であったためであると考えた。上肢を一定の角度に静止させるためには、連続的に上肢を挙上する場合と比較し、より重力に抗するために、体幹を伸展する必要がある、このため骨盤前傾運動は大きくなったと考える。無負荷の条件では上肢挙上動作に伴い骨盤前傾運動がみられていないことから、腰椎と同様に運動への関与が少ないことで、負荷による影響もみられなかったのではないかと考察した。

上肢挙上動作に伴う肩甲骨および体幹の運動は、上肢を挙上する面や、上肢挙上速度、測定肢位に影響を受けることが報告されている<sup>23,24)</sup>。そのため、本研究の結果が限定された条件での結果であることを留意すべきである。また、本研究は立位にて上肢挙上動作を行っているため、重心の影響も考慮すべきであったと

考える。Mochizukiら<sup>25)</sup>は上肢挙上角度90°までは、重心は前方へ変位するが、上肢挙上角度90°以降は、前方から安静立位時の重心線に近づくと報告している。本研究でみられた負荷量の増加に伴う肩甲骨や体幹の運動の変化も、この重心変位に拮抗するためのものかもしれない。

本研究より、健常者が片手で2 kg以上の物体を挙上する際には、上肢挙上角度120°以降胸椎伸展運動が大きくなり、4 kg以上では上肢挙上60°以降胸椎伸展運動が大きくなり、さらに6 kgでは上肢挙上150°以降肩甲骨上方回旋角度が大きくなることが明らかとなった。本研究の対象が健常者であったことから、今回みられた肩甲骨と体幹の運動様式が、物体を効率よく挙上する方法であると考えられる。よって、各負荷強度に対し上肢挙上時の肩甲骨および体幹の運動が本研究より小さくなると、その運動の不足分を肩甲上腕関節で担わざるをえず、肩関節に疼痛を引き起こすリスクが高くなるのではないかと考える。今後は肩関節に疼痛を訴える患者と健常者の上肢挙上時の運動様式を比較することで、患者の特徴を明らかにしたい。これらが明らかになることで、肩関節に疼痛を惹起する運動様式が示され、そのリハビリテーションの一助となると考える。

## 引用文献

- 1) Codman EA: The shoulder. Thomas Todd, Boston, 1934.
- 2) Inman VT: Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg*, 1944, **26A**: 1-32.
- 3) Warner JJ, Micheli LJ, Arslanian LE, et al.: Scapulothoracic motion in normal shoulders and shoulders with glenohumeral instability and impingement syndrome. *Clin Orthop Relat Res*, 1992, **285**: 191-199.
- 4) Hallstrom E, Karrholm J: Shoulder kinematics in 25 patients with impingement and 12 controls. *Clin Orthop Relat Res*, 2006, **448**: 22-27.
- 5) Michiels I, Grevenstein J: Kinematics of shoulder abduction in the scapular plane on the influence of abduction velocity and external load. *Clin Biomech*, 1995, **10**: 137-143.
- 6) Doody SG, Freedman L, Waterland JC: Shoulder movements during abduction in the three scapular plane. *Arch Phys Med Rehabil*, 1970, **51**: 595-604.
- 7) Augusto GP, Pedro PC, van der Helm FF, et al.: Effects of different arm external loads on the scapulo-humeral rhythm. *Clin Biomech*, 2000, **15**: 21-24.
- 8) 信原克哉: 肩 その機能と臨床 第3版. 医学書院, 東京, 2001, pp55, 60-70.
- 9) Kapandji IA: The physiology of the joints 1. Churchill Livingstone, New York, 1982: 1-71.

- 10) Crosbie J, Kilbreath SL, Hollmann L, et al.: Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion. *Clin Biomech*, 2008, **23**: 184-192.
- 11) Pope DP, Silman AJ, Cherry NM, et al.: Association of occupational physical demands and psychosocial working environment with disabling shoulder pain. *Ann Rheum Dis*, 2001, **60**: 852-858.
- 12) Helena M, Eira VJ, Viikari-Juntura E, et al.: A population study on differences in the determinants of a specific shoulder disorder versus nonspecific shoulder pain without clinical findings. *Am J Epidemiol*, 2005, **161**: 847-855.
- 13) Anseron JH, Haahr JP, Frost P, et al.: Risk factor for more severe regional musculoskeletal symptoms. *Arthritis Rheumatism*, 2007, **56**: 1355-1364.
- 14) 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法の試み. *スポーツ医・科学*, 2004, **17**: 23-27.
- 15) Miyashita K, Urabe Y, Kobayashi H, et al.: Relationship between maximum shoulder external rotation angle during throwing and physical variables. *J Sports Sci Med*, 2008, **7**: 47-53.
- 16) Miyashita K, Urabe Y, Kobayashi H, et al.: The role of shoulder external rotation during throwing for elbow injury prevention in baseball players. *J Sports Sci Med*, 2008, **7**: 223-228.
- 17) Abdel-Aziz YI, Karara HM: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: *Proc. ASP/UI Symp. on Close-Range Photogrammetry*. American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, 1971, pp1-18.
- 18) 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*, 1998, **27**: 125-133.
- 19) Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR: Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation. *Clin Biomech*, 2005, **20**: 700-709.
- 20) Michener LA, McClure PW, Karduna AR: Anatomical and biomechanical mechanisms of subacromial impingement syndrome. *Clin Biomech*, 2003, **18**: 369-379.
- 21) Kronberg M, Nemeth G, Brostrom LA: Muscle activity and coordination in the normal shoulder. *Clin Orthop Relat Res*, 1990, **257**: 76-85.
- 22) 上田泰之, 浦辺幸夫, 大林弘宗・他: 若年者と高齢者における上肢挙上時の体幹アライメントの違い. *体力科学*, 2008, **57**: 485-490.
- 23) McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, et al.: Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg*, 2001, **10**: 269-277.
- 24) Fayad F, Hoffmann G, Hanneton S, et al.: 3-D scapular kinematics during arm elevation. *Clin Biomech*, 2006, **21**: 932-941.
- 25) Mochizuki G, Ivanova TD, Garland SJ: Postural muscle activity during bilateral and unilateral arm movements at different speeds. *Exp Brain Res*, 2004, **155**: 352-361.