

国際医療福祉大学審査学位論文（博士）

大学院医療福祉学研究科博士課程

若年者と高齢者を対象とした肩関節外転角度の
増加による肩峰骨頭間距離と肩甲骨の三次元
動態変化の分析

平成 26 年度

保健医療学専攻・理学療法学分野・基礎理学療法学領域

学籍番号：12S3045 氏名：中村 壮大

研究指導教員：黒澤 和生 教授

副研究指導教員：勝平 純司 講師

若年者と高齢者を対象とした肩関節外転角度の
増加による肩峰骨頭間距離と肩甲骨の三次元動態変化の分析

中村 壮大 著

要旨

【目的】 肩関節の外転運動における若年者と高齢者の肩峰下接触動態と肩甲骨の三次元的動態を比較し、それらの関係性を明らかとすること。

【方法】 若年男性 21 名と高齢男性 17 名を対象とした。課題動作は、肩関節外転運動とし、超音波診断装置と三次元動作分析装置を用いて肩峰骨頭間距離の変化と肩甲骨の三次元的な動きを分析した。

【結果】 若年者に比べ高齢者では、肩関節外転が小さい角度において肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過していることが明らかとなった。また、高齢者では若年者と比べ、肩甲骨の上方回旋が小さいこと、内旋角度は若年者よりも大きい、肩関節外転角度変化に伴う肩甲骨の外旋方向への動きが認められなかった。さらに、肩峰骨頭間距離と肩甲骨の前後傾および上方回旋に若年者、高齢者ともに相関関係を認めたが、内旋においては若年者のみ肩峰骨頭間距離との相関関係を認めた。

【結語】 本研究より、加齢による肩峰骨頭間距離と肩甲骨の三次元的な動態およびそれらの関係性に対する影響を明らかにすることができた。本研究で得られた結果は理学療法分野における肩関節疾患に対する予防リハビリテーションの重要な知見となる。

キーワード：肩峰下接触動態，肩峰骨頭間距離，肩関節外転運動

Analysis of acromiohumeral distance and three-dimensional movements of the scapula with increased shoulder joint abduction motion in young and elderly adults

SOUTA NAKAMURA

ABSTRACT

[Purposes] The purposes of this study were to compare the three-dimensional movements of the shoulder and subacromial contact behavior between healthy young and elderly adults, and to demonstrate the relationship in both subject groups during shoulder joint abduction motion.

[Subjects and Methods] The subjects were 21 healthy young and 17 elderly men. Three-dimensional movement of the scapular and the acromiohumeral distance of both shoulders during abduction motion of the shoulder joint were recorded by using a three-dimensional motion analysis system and a ultrasonography, respectively.

[Results] In the elderly subjects, the outer end of the greater humeral tubercle passed below the top protrusion of the acromion at the initial abduction angle of the shoulder joint compared to that in the young subjects. The upward rotation angle of the scapula in the elderly subjects was smaller than that in the young subjects. Although the internal rotation angle of the scapula in the elderly subjects was larger than that in the young subjects, movement of the scapula towards external rotation with increased shoulder abduction angle was not observed in the elderly subjects. In addition, a relationship between the acromiohumeral distance, and the scapula inclination and upward rotation angle was observed in both subject groups, but a relationship between the acromiohumeral distance and the internal rotation angle of the scapula was observed only in the young subjects.

[Conclusion] We determined the effects of aging on the acromiohumeral distance, three-dimensional movements of the scapula, and their relationships. The results obtained in the present study could provide important knowledge on preventive rehabilitation for shoulder joint disabilities in the field of physical therapy.

KEYWORDS : Subacromial contact behavior, Acromiohumeral distance, Shoulder joint abduction motion

目次

第1章 本研究の序論	1
第1節 序論	1
第2節 本研究の目的	3
第3節 本研究の仮説	3
第4節 倫理面の配慮	3
第2章 肩関節外転運動における若年者と高齢者の肩峰骨頭間距離の比較	4
第1節 本章の目的	4
第2節 対象および方法	4
2-2-1 対象	4
2-2-2 インピンジメントの評価方法	4
2-2-3 超音波診断装置による測定方法	4
2-2-4 測定の概要と統計解析方法	6
第3節 結果	6
2-3-1 異なる肩関節外転角度における左右肩関節のAHDの比較	6
2-3-2 異なる肩関節外転角度における年齢によるAHDの比較	7
第4節 考察	10
2-4-1 超音波画像診断による肩関節のAHD評価の妥当性	10
2-4-2 安静時における若年者と高齢者のAHDの比較	11
2-4-3 肩関節外転角度の変化による若年者と高齢者のAHDの比較	11
2-4-4 本章の限界	12
第5節 第2章のまとめ	12
第3章 若年者と高齢者を対象とした肩関節外転角度の増加による肩甲骨の三次元動態変化と肩峰骨頭間距離との関係	13
第1節 本章の目的	13
第2節 対象および方法	13
3-2-1 対象と被験者の選択方法	13
3-2-2 実験条件	13
3-2-3 計測方法	13
3-2-4 解析方法	14
3-2-5 統計解析方法	14
第3節 結果	15
3-3-1 若年者と高齢者における肩甲骨上腕リズムの比較	15
3-3-2 異なる肩関節外転角度における肩甲骨の運動学的変化の年代による比較	15
3-3-3 若年者と高齢者における肩関節外転運動でのAHDと肩甲骨の動きの比較	15

第4節 考察	17
3-4-1 肩甲上腕リズムを指標とした肩甲骨評価の妥当性の検証および年代による比較	18
3-4-2 若年者と高齢者の三次元的な肩甲骨の動きの変化の比較	18
3-4-3 肩関節外転運動における加齢によるAHDと肩甲骨の動きに対する影響	19
3-4-4 本章の限界	20
第5節 第3章のまとめ	21
第4章 本研究の総括	22
謝辞	23
参考文献	23

第1章 本研究の序論

1-1 序論

Nakamura ら¹⁾ が 2011 年に実施した 1 万人規模のアンケート調査において慢性疼痛の発生部位として、腰、頸に続いて肩関節周囲の疼痛が有病率では 3 番目に高頻度であることを報告している。また、加齢に伴い肩関節周囲の疼痛を有する者が増加することも報告されている。

肩関節の疼痛を引き起こす主な原因としては、インピンジメント症候群が挙げられている。種々の要因で上腕骨頭が上方へ変位すると肩峰骨頭間距離 Acromiohumeral distance (以下, AHD) が狭小化して肩関節の運動時に肩峰の前下縁で回旋筋腱板が衝突して組織の損傷が起こるとされる。このインピンジメント症候群は, Neer ら²⁾ も述べているように腱板断裂や五十肩と違い高齢者だけでなく, 若年者にも生じる病態である。インピンジメント症候群は, 肩峰下インピンジメントとインターナルインピンジメントに分けられている。肩峰下インピンジメントは, 上腕骨頭と烏口肩峰アーチとの間で大結節周囲に位置する腱板組織や上腕二頭筋長頭腱, 肩峰下滑液包などが挟み込まれる病態であり上腕骨頭の上方への過剰な滑り運動により生じ, 疼痛を発生させる原因となる。また, インターナルインピンジメントは, 挙上動作や肩関節外転時に上腕骨頭が下方や前方に過剰に滑る。その結果, 腱板の関節面が上腕骨頭と関節唇あるいは関節窩との間で挟まれ損傷し, 疼痛を引き起こす病態³⁾ である。いずれのインピンジメント症候群においても肩関節の解剖学的な変化が発症に影響すると報告されている^{2) 4)}。

インピンジメント症候群の病態によっても適切な治療や予防の方法は異なると言える。そこでインピンジメント症候群の鑑別診断が簡便に行えれば, 発生要因の違いを考慮した適切な治療介入が可能となるため肩関節疼痛の慢性化を避けられる可能性がある。鑑別診断のためには肩甲上腕関節がどの程度の外転位になった時に肩峰と上腕骨大結節外側端の接触がみられるのかという各年代における基礎データが必要になる。現状では, インピンジメント症候群の診断方法として単純レントゲンや MRI を用いた AHD による評価が行われている。一方, インピンジメント症候群の診断に際しリアルタイムに身体内部の観察が可能で, さらに侵襲のない超音波診断装置を用いた肩関節の評価が行われるようになってきている。Azzoni ら⁵⁾ は, 若年者とインピンジメント疾患を対象に単純レントゲンと超音波診断装置で得られた AHD を肩関節外転角度 0° の状態のみ比較しており, 超音波診断装置による AHD 評価の妥当性を示した。また Desmeules ら⁶⁾ は, インピンジメント疾患と健常者を対象に肩関節外転角度 0°, 45°, 60° の 3 つの角度で AHD を測定した結果, 外転角度の増加に伴い AHD が狭くなることや, 肩峰下インピンジメント疾患は, 健常者に比べ AHD が拡大することを報告している。

また, 肩関節外転運動に伴う上腕骨と肩甲骨の動きの関係が破綻することで, インピンジメント症候群や肩関節障害が生じることも良く知られている。肩関節は, 多くの研究者によってその機能や動きのメカニズムについて研究されており, 肩関節の挙上動作には上腕骨に追従するように肩甲骨の運動が伴うことが知られている。肩関節挙上動作における上腕骨と肩甲骨の協調性は, Codman⁶⁾ により 肩甲上腕リズムとして概念化され, 肩関節の運動機能を評価検証する上で重要な指標となっている。その後 Inman ら⁷⁾ により, この上腕骨に追従する肩甲骨の運動の割合が 2 : 1 であることが報告され, 初めて肩甲上腕リズムが定量的に評価された。肩甲上腕リズムは単一

平面での肩関節挙上動作における上腕骨と肩甲骨の運動の関係性を示す現象である。Freedman and Munro⁸⁾ や Poppen and Walker (1976)ら⁹⁾ はレントゲン撮像を用いて、二次元的な計測手法により肩甲骨の動きを評価した。その後、肩甲骨が単一平面のみでなく、多平面を跨って複雑な動きを示すこと、障害を有する肩では肩甲骨が特異的な動態を示すことから、三次元的な計測手法によって肩甲骨の動きを評価する試みがなされるようになった。Johnson(1993)ら¹⁰⁾ は、肩甲骨の3つの骨特徴点(肩甲棘の両端と下角)に装具を当てて面を構成し、その面の方位を電磁ゴニオメータを用いて3次元的に肩甲骨の動きを評価した。また、McQuade(1995)ら¹¹⁾ が電磁ゴニオメータを用いてセンサーを直接、肩峰の皮膚表面に貼付し肩甲骨の方位を測定した。皮膚と肩甲骨のずれを最小に抑える侵襲的な方法として、Inman, Kohら¹²⁾ そして McClure ら¹³⁾ は肩甲骨に直接ピンを刺し、そのピンの動きを測定することによって肩甲骨の三次元的な動きを計測した。

Inman らは通常の肩甲骨の運動からの逸脱は肩関節の機能障害と関連すると報告している。また Endo(2001)ら¹⁴⁾ は、二次元の静的なレントゲン撮影から、インピンジメント疾患では肩甲骨の上方回旋角度が減少していることを報告している。また、Lukasiewics¹⁵⁾ や Ludewig and Cook ら¹⁶⁾ はインピンジメント疾患を対象として骨ピンを用いた侵襲的な評価方法によって肩甲骨の動きを三次元的に評価し、健常者と比較してその動きが異なることを報告している。以上より肩甲骨の三次元的な動きと AHD は相互に影響を及ぼしていることが考えられるが、AHD と肩甲骨の動きを同時に評価し、その関係性を報告した研究はなされていない。

また、高齢者は、肩関節に特異的な障害を有していなくても不良姿勢や柔軟性の低下のために肩関節外転に伴う肩甲骨の正常な動きが得られていない可能性がある。加齢に伴う姿勢変化として胸腰椎後弯と骨盤後傾姿勢が挙げられる。さらに加齢に伴い筋力の低下、柔軟性の低下などの複数の間接的な要因によって肩関節の疼痛が増加すると考えられる。加齢による身体機能への影響として、腰椎の後弯化は40歳代後半より現れ、加齢とともに進行することが報告されている(鈴木¹⁷⁾、竹光¹⁸⁾)。また、篠田(2006)¹⁹⁾ は骨盤が後傾位となると上腕骨の最大挙上角度が減少することを報告している。上田ら²⁰⁾ は、若年者では0°と比較すると上腕骨の最大挙上位にて胸椎後弯角の減少と骨盤前傾角の増加が有意に認められたが、高齢者では肩関節挙上に伴って胸椎後弯角と骨盤前傾角に有意な変化は認められず、最大挙上角度が減少することを報告している。後藤ら²¹⁾ によると、肩関節の可動域制限や前方挙上および外転筋力は、加齢に伴い有意に減少すると述べている。また、肩関節に関する加齢による解剖学的な変化を調べた報告として、上里ら²²⁾ は、加齢に伴う腱板機能低下が五十肩を発症することを示唆している。さらに小竹ら²³⁾ は、超音波診断装置を用いて腱板の超音波輝度が加齢に伴い低下し、異常所見が多く認められると報告している。

しかしながら、若年者と高齢者を対象として肩関節外転角度の増加に伴う AHD の詳細な変化や、肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過する角度を比較した研究は、我々が渉猟し得た限り見当たらない。さらに肩関節疾患肩と健常肩の肩甲骨の動きを三次元的に比較した先行研究は散見されるが、高齢者の肩甲骨の動きを三次元的に評価した上で、AHD と肩甲骨の動きの関係性を検証した研究はこれまでに行われていない。肩関節外転運動における AHD と三次元的な肩甲骨の動きの関係性が明らかにすることができれば、加齢に伴う肩峰下接触動態や肩甲骨の動きの

特徴が把握でき、関節機能面と加齢による影響との関連を把握することができる。さらに、理学療法分野において AHD を、肩関節の機能的・運動学的な評価法として用いることが可能となり、加齢や疾患による肩関節への影響を考える上で重要な指標となる。

1-2 本研究の目的

本研究では、1) 超音波診断装置を用いて肩関節の外転運動における若年者と高齢者の AHD の変化を計測し、若年者と高齢者の基礎データを比較検討することにより、加齢に伴う肩峰下接触動態への影響を明らかにすること、2) 肩関節の外転角度の増加による肩甲骨の三次元動態変化を分析し、若年者と高齢者において比較した上で、三次元的な肩甲骨の動きと AHD の関係を明らかにすることを目的とする。

1-3 本研究の仮説

本研究の目的 1) に対する仮説としては、安静下垂時の高齢者の AHD は若年者に比べ、高齢者では関節窩に上腕骨頭を求心位に保つ機能が低下することにより、大きい値となるが、肩関節外転角度の増加による AHD の変化は若年者と同様の傾向となる。目的 2) に対する仮説としては、高齢者では若年者と比べて肩甲骨は加齢により特異的な三次元的変化を示し、肩関節疾患者と近似した傾向となる。また、肩関節外転角度の増加に伴う AHD の変化と肩甲骨の動きの関係性については高齢者より若年者で高い相関が得られる。

1-4 倫理面の配慮

本研究の実施に先立ち、国際医療福祉大学の倫理委員会にて承認を得た(承認番号 13-Io-152-2)。なお、対象者には研究の趣旨と方法に関する説明を十分に行い、研究同意の撤回がいつでも可能な事を説明したうえで、研究に協力することに対し、書面にて同意を得た後に計測を行った。

第2章 肩関節外転運動における若年者と高齢者の肩峰骨頭間距離の比較

2-1 本章の目的

本章の目的は、超音波診断装置を用いて肩関節の外転運動における若年者と高齢者の AHD の変化を計測し、若年者と高齢者の基礎データを比較検討することにより、加齢に伴う肩峰下接触動態への影響を明らかにすることである。肩関節を動かす際の AHD の変化に対し、年齢差を踏まえて捉えることは、肩関節障害と関節機能面の関連を把握するとともに、肩峰下の接触が強くなる運動を制限することが可能となる。

2-2 対象および方法

2-2-1 対象

対象は、健常若年男性 21 名 42 肩（平均年齢 20.2 ± 0.8 歳，平均身長 167.3 ± 9.9 cm，平均体重 57.9 ± 9.4 kg），健常高齢男性 17 名 34 肩（平均年齢 70.2 ± 4.2 歳，平均身長 164.8 ± 7.0 cm，平均体重 61.0 ± 8.0 kg）とした。健常若年男性の定義は，過去に肩関節に障害既往がなく，整形外科的手術歴がない者とした。また，健常高齢男性の定義としては，整形外科的手術歴がなく，神経学的に問題がないものとした。さらに全ての対象者に計測前に Neer と Hawkins によるインピンジメント試験をそれぞれ行い，肩関節に問題がないことを確認した症例のみを対象とした。

2-2-2 インピンジメントの評価方法

Neer による試験の検査肢位は，椅坐位にて実施し，検査者は被験者の背側に位置し，一方の手で肩甲帯を固定し，もう片方の手で被験者の肩関節を内旋させ，冠状面上で肩関節を外転させた。肩峰下部にて疼痛が出現した場合を陽性と判断した。また，Hawkins による試験も椅坐位にて，被験者の背側に位置し，上肢遠位と前腕の遠位を把持し，冠状面上で他動的に肩関節 90° 屈曲位から前腕を下方へ誘導し肩関節の内旋を強制した。その際，疼痛が出現したら陽性と判断し，棘上筋の損傷，または肩峰下滑液包炎の存在を示唆した^{24) 25)}。いずれの試験においても被験者の肩甲帯の挙上や体幹の側屈などの代償運動を抑制した。

2-2-3 超音波診断装置による測定方法

超音波検査には超音波診断装置（GE ヘルスケア社製，LOGIQ）および 8MHz リニア型プローブを使用した。課題動作は，肩関節外転動作とし，プローブは外上方走査にて肩甲骨の長軸に沿った前額面像を撮像した状態で各外転角度において肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過した角度を観察した。AHD は肩峰の最突出部の骨硬化像から上腕骨大結節外側端までの最短距離と定義した（図 1）。測定角度は，肩関節外転 $0^\circ \sim 80^\circ$ までの角度で， 10° ごとに測定を実施した。角度の測定に関しては，東大式ゴニオメータを使用し，同一の検査者（臨床経験を 9 年有する理学療法士）が実施した。また，本実験における肩関節外転角度とは，臨床で用いられている体幹に対する上腕骨の角度と定義した。

課題肢位は立位で，肘関節は伸展位，前腕は自動運動での最大内旋・外旋位における中間位（橈骨の延長線上に第一中手骨が位置するよう操作定義）に設定して行った（図 2）。測定順は，コン

コンピュータにてランダム化した。表層部の筋組織を圧迫せずに明瞭な超音波画像を得るため、プローブにエコーゼリーを塗布して超音波画像の撮影を行った。

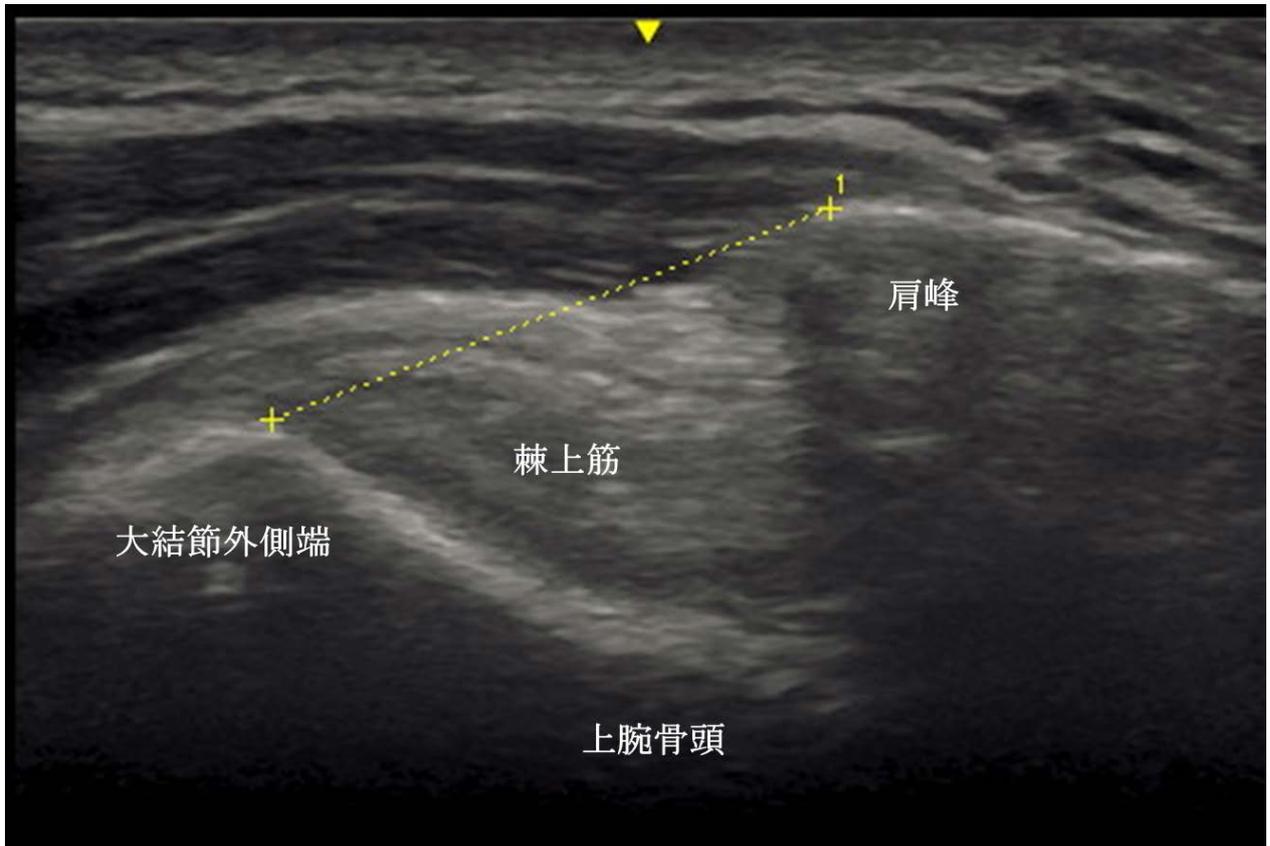


図1 超音波画像における肩峰骨頭間距離の測定方法



図2 測定姿勢

左肩関節の肩峰骨頭間距離を撮像した例

2-2-4 測定の概要と統計解析方法

測定課題は、2回実施しその平均値にて検定を行った。試行毎に十分な休憩をとることで、疲労による影響に配慮した。解析方法は、肩関節左右と肩関節外転角度を二要因とした二元配置分散分析反復測定法を行った。群間比較には多重比較検定 Bonferroni 法を用いた。左右の肩と肩関節外転角度の交互作用の有無を確認した後に年齢と肩関節外転角度を要因とした二元配置分散分析反復測定法を行った。また、すべての統計処理において有意水準 5% で判定をした。統計処理には統計ソフト IBM SPSS Statistics 21 を使用した。

2-3 結果

2-3-1 異なる肩関節外転角度における左右肩関節の AHD の比較

若年者の異なる肩関節外転角度における左右肩関節の AHD の結果を表 1 図 3, 高齢者の結果を表 2 図 4 にそれぞれ示す。

若年健常者の AHD については、交互作用は認められず、肩関節外転角度に主効果を認めたが、左右には主効果を認めなかった。肩関節外転運動における肩峰最突出部の下方を、上腕骨大結節

外側端が通過する角度は、 40° で 6 肩、 50° で 12 肩、 60° で 24 肩が通過していた (表 3a)。AHD は、 0° で左右平均 17.3 ± 0.0 mm、 10° で 15.9 ± 0.1 mm、 20° で 14.4 ± 0.1 mm、 30° で 12.3 ± 0.1 mm、 40° で 7.7 ± 0.1 mm、 50° で 4.2 ± 0.7 mm となった。それ以降の角度は通過していたため測定困難であった。AHD 測定値は、 0° に比べ $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ で有意に距離が減少していた ($p < 0.01$)。

高齢者の AHD については、交互作用は認められず、肩関節外転角度に主効果を認めたが、左右には主効果を認めなかった。肩関節外転運動における肩峰最突出部の下方を、上腕骨大結節外側端が通過する角度は、 30° で 8 肩、 40° で 20 肩、 50° で 5 肩、 60° で 1 肩が通過しており、若年者に比べ高齢者では肩関節外転が小さい角度 ($0^{\circ} \sim 40^{\circ}$) において肩峰最突出部の下方を、上腕骨大結節外側端が通過していた (表 3b)。AHD は、 0° で左右平均 22.8 ± 0.6 mm、 10° で 16.3 ± 0.5 mm、 20° で 10.1 ± 0.0 mm、 30° で 4.1 ± 0.0 mm、 40° で 0.9 ± 0.0 mm、 50° で 0.2 ± 0.2 mm となった。それ以降の角度は通過していたため測定困難であった。AHD 測定値は、 0° に比べ $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ で有意に距離が減少していた ($p < 0.01$)。

2-3-2 異なる肩関節外転角度における年齢による AHD の比較

若年者と高齢者ともに左右に主効果が認められなかったため、若年者 21 名の 42 肩、高齢者 17 名の 34 肩を対象として、角度と年齢による二元配置分散分析を行った。二群における AHD の変化の傾向を表 4 に示す。高齢者では一肩を除く、肩関節外転 60° ですべての肩の AHD が 0 となったため、 0° から 50° においてのみ分析を実施した。結果として、若年者と高齢者の AHD に交互作用がみられた。若年者の AHD は、肩関節外転 0° では左右平均 17.3 mm となったのに対し、肩関節外転 50° では 4.2 mm となり 13.1 mm の減少を認めた。若年者に比べ高齢者の AHD は、肩関節外転 0° では左右平均 22.8 mm となったのに対し、肩関節外転 50° では 0.2 mm となり 22.6 mm と急激な減少を認めた。

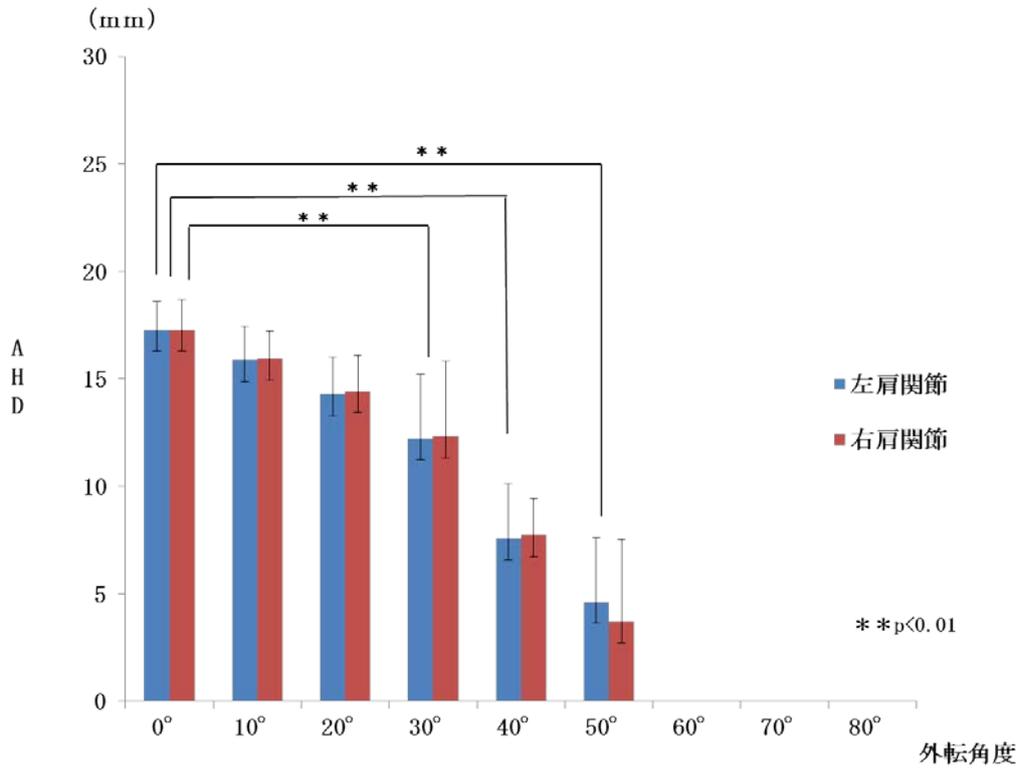


図3 若年者での肩関節外転運動における肩峰骨頭間距離の変化

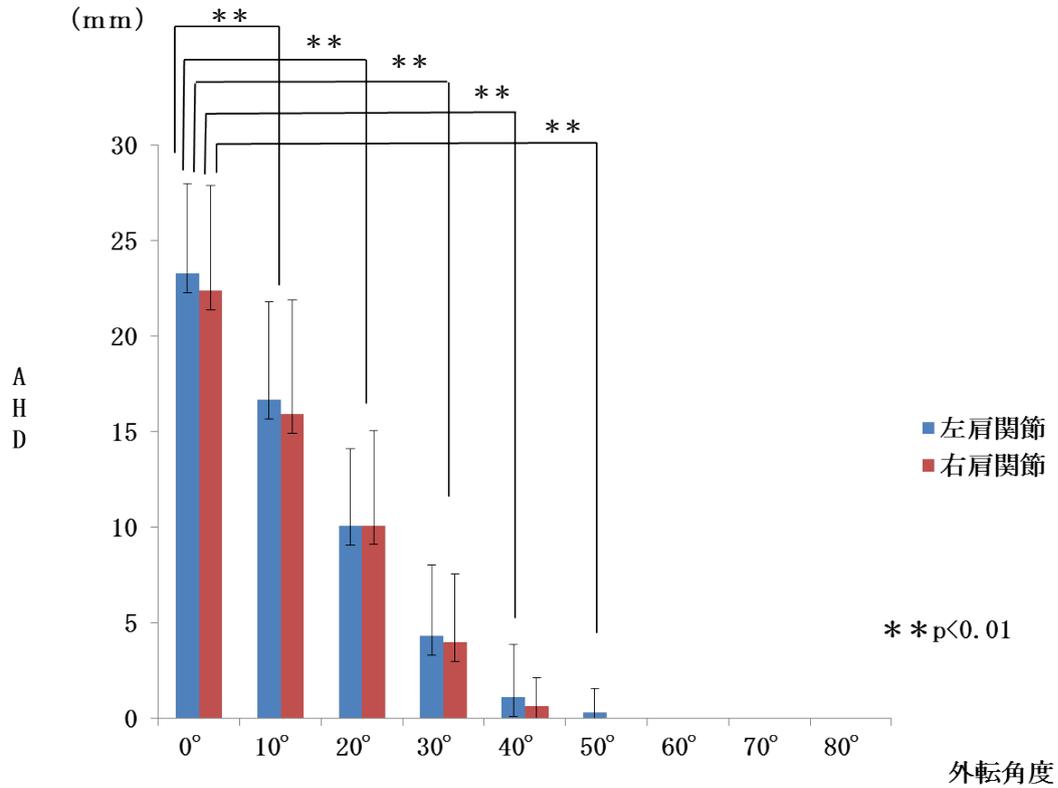


図4 高齢者での肩関節外転運動における肩峰骨頭間距離の変化

表1 若年者での肩関節外転運動による肩峰骨頭間距離の比較

	肩関節外転角度 (deg.)								主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ	
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°					80°
	肩峰骨頭間距離 (mm)												
左肩	17.3±1.3	15.9±1.6	14.3±1.7	12.2±3.0	7.6±2.5	4.6±3.0	0	0	0			0と30, 0と40, 0と50	
右肩	17.3±1.4	15.9±1.3	14.4±1.7	12.3±3.5	7.7±1.7	3.7±3.9	0	0	0	n.s	p=0.001	n.s	0と30, 0と40, 0と50
平均	17.3±0.0	15.9±0.1	14.4±0.1	12.3±0.1	7.7±0.1	4.2±0.7	0	0	0				

60° ~80° ではすべての被験者で肩峰骨頭間距離が0mmとなったため、解析に用いていない。

表2 高齢者での肩関節外転運動による肩峰骨頭間距離の比較

	肩関節外転角度 (deg.)								主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ	
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°					80°
	肩峰骨頭間距離 (mm)												
左肩	23.3±4.6	16.7±5.1	10.0±4.0	4.3±3.7	1.1±0.2	0.3±0.1	0	0	0			0と10, 0と20, 0と30, 0と40, 0と50	
右肩	22.3±5.5	15.9±5.9	10.1±4.9	4.0±3.5	0.6±0.2	0	0	0	0	n.s	p=0.001	n.s	0と10, 0と20, 0と30, 0と40, 0と50
平均	22.8±0.6	16.3±0.5	10.1±0.0	4.1±0.0	0.9±0.0	0.2±0.2	0	0	0				

60° ~80° ではすべての被験者で肩峰骨頭間距離が0mmとなったため、解析に用いていない。

表3a 若年者での肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過した肩関節外転角度における肩数

	0-10°	11-20°	21-30°	31-40°	41-50°	51-60°	61-70°	71-80°	81-90°
	肩数 (肩)								
左肩	0	0	0	3	6	12	0	0	0
右肩	0	0	0	3	6	12	0	0	0

表3b 高齢者での肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過した肩関節外転角度における肩数

	0-10°	11-20°	21-30°	31-40°	41-50°	51-60°	61-70°	71-80°	81-90°
	肩数 (肩)								
左肩	0	0	3	11	2	1	0	0	0
右肩	0	0	5	9	3	0	0	0	0

表 4 異なる肩関節外転角度における若年者と高齢者との肩峰骨頭間距離の比較

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(年齢)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0	10	20	30	40	50	60	70	80				
	肩峰骨頭間距離 (mm)												
若年者	17.3±0.0	15.9±0.1	14.4±0.1	12.3±0.1	7.7±0.1	4.2±0.7	0	0	0	p=0.01	p=0.004	p=0.001	0°～50°のすべての角度にて有意差を認められた
高齢者	22.8±0.8	18.3±0.5	10.1±0.0	4.1±0.0	0.9±0.0	0.2±0.2	0	0	0				

60°～80°ではすべての被験者で肩峰骨頭間距離が0mmとなったため、解析に用いていない。

2-4 考察

本章では、超音波診断装置を用いて肩関節外転角度の増加による AHD の変化を分析し、さらに加齢による影響も検討した。安静下垂時の高齢者の AHD は若年者に比べ、大きい値になり仮説通りの結果となった。また、肩関節外転運動は、若年者、高齢者ともに左右肩関節において交互作用が認められなかったことから、左右の肩関節の AHD は同様の傾向で変化したと考えられる。肩関節外転運動における若年者と高齢者での AHD の変化は同様の傾向を示すと仮説を立てたが、肩峰下接触動態は、若年者は角度が増加するとともに段階的に AHD が減少するが、高齢者は角度が増加するとともに急激に AHD が減少した。これは高齢者の特異的な特徴であり、関節機能面への加齢による影響が明らかとなった。

2-4-1 超音波画像診断による肩関節の AHD 評価の妥当性

Azzoni らは、X 線と超音波診断装置を用いて形態学、年齢、性別などを検証し、性別や形態には関連が認められたが加齢による影響は認めず、健常者の肩関節外転 0° での AHD は平均 10.5 mm (6.9～16.6 mm) と報告している。また、Desmeules らは肩関節外転 0° での AHD は 9.9±1.5 mm と報告している。本章の結果において、若年者では、左右平均 17.3±1.3 mm、高齢者 22.8±5.1 mm となり、Azzoni らや Desmeules らの報告した値よりも大きかった。この理由として、Azzoni らや Desmeules らは肩峰から上腕骨頭までの最短距離を測定しており、我々が計測した肩峰から上腕骨大結節外側端までの距離と異なることが挙げられる。一方で、Cholewinski ら²⁶⁾ は、肩峰から上腕骨大結節までの距離とし、肩関節外転 0° にて AHD を測定したところ、健常肩関節では平均 22.7 (18.3～29.4) mm と報告しており、本章の結果での若年者平均 17.3±1.3 mm および高齢者平均 22.8±5.1 mm と近似していた。

また、単純レントゲン写真を用いた AHD に関する報告として、Broom²⁷⁾ は自動外転運動をすると骨頭が肩峰に接近しスペースが狭くなることや、Solem ら²⁸⁾ は、肩甲骨が内転位から外転位をとると AHD が狭くなることを観察している。我々と同様に超音波診断装置を用いて肩関節外転角度を変えて AHD を計測した Desmeules らは、13 名の健常者 (34±9 歳) を対象に肩関節外転角度 0°、45°、60° の 3 つの角度で AHD を測定した結果、外転角度の増加に伴い AHD が減少することを報告している。本章では、若年者 (20.2±0.8 歳) 21 名 42 肩と高齢者 (70.2±4.2 歳) 17 名 34 肩を対象に、先行研究よりも測定する外転角度を増やし AHD の変化を分析した結果、肩関節外転角度の増加に伴い AHD は若年者と高齢者ともに減少していることが明らかとなり、変化の傾向は Desmeules らの報告と一致した。

2-4-2 安静時における若年者と高齢者の AHD の比較

安静時肩関節外転 0° における AHD として、高齢者では、AHD の平均値が 22.8 ± 5.1 mm となり、若年者の 17.3 ± 1.3 mm と比較すると有意に AHD の距離が増加していることが明らかとなった。高齢者は加齢に伴い、上腕骨頭を関節窩に求心位に保つために活動する棘上筋・棘下筋・小円筋・肩甲下筋で構成する回旋筋腱板などの機能が低下したため、肩関節外転 0° という安静肢位では上肢の重みの影響を受けて、骨頭を求心位に保持することができず AHD が増加したと考えられる。また、Sher ら²⁹⁾ は、疼痛などの症状の訴えがない被験者を対象に肩関節を MRI にて検査したところ、60 歳以上の被験者の半数近くが腱板断裂を有していたことを報告している。本章ではインピンジメントを有していない高齢者を対象としたが、平均年齢は 70.2 ± 4.2 歳であり、全ての対象者が 60 歳以上であったため、疾患肩に近い状態であったことも考えられる。先行研究では Desmeules らは 13 名の健常者が 9.9 ± 1.5 mm であったの対し、7 名のインピンジメント疾患患者では 12.0 ± 1.9 mm と AHD の距離が増加することを報告している。しかし、Cholewinski らは、健常肩では 22.7 ($18.3 \sim 29.4$) mm であったの対し、インピンジメント疾患肩では 22.2 ($16.4 \sim 34.2$) mm と健常肩と比較し逆にインピンジメント疾患肩ではわずかではあるが AHD が減少することを報告している。さらに Cholewinski らの研究における対象者の年代に着目すると健常肩の対象となっている被験者の年代は平均 56 ($34 \sim 83$) 歳であり、インピンジメント疾患肩でも平均 57 ($38 \sim 79$) 歳と幅広い年齢層を対象にして計測を実施している。そのため、我々は 63~78 歳の高齢者のみを対象としていたため、Cholewinski らの若年者を含むインピンジメント疾患肩と傾向が一致しなかったことが考えられる。また、今回我々が対象としたのはインピンジメント疾患肩を有さない高齢者であったことから、Cholewinski らのインピンジメント疾患肩で AHD が狭くなる結果と一致しない点が、高齢者の特徴であったとも考えることができる。

2-4-3 肩関節外転角度の変化による若年者と高齢者の AHD の比較

肩関節外転角度の変化において、肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過する角度が、若年者に比べ高齢者では肩関節外転が小さい角度において通過していることが明らかとなった。肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過する角度が、健常若年者では 40° で 6 肩、 50° で 12 肩、 60° で 24 肩が通過し、健常高齢者では、 30° で 8 肩、 40° で 20 肩、 50° で 5 肩、 60° で 1 肩が通過していた。肩峰の下方を大結節が通過する角度に関しての先行研究として中村ら³⁰⁾ は、体幹に対し約 120° で上腕骨の大結節が肩峰に対面し、それ以上の外転が妨げられ 90° 以上になると、上腕骨は外旋し、大結節は肩峰下面の後縁をすり抜けて、小結節が肩峰に対面し、さらに外転を継続して 180° に達すると報告している。しかし本章の結果では、若年者は外転角度 60° 、高齢者では 40° で多くの被験者が肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過していた。これは本章では、生体に対し超音波診断装置を用いて先行研究よりも外転角度を増やして AHD を測定したために得られた結果と考えられる。また、Muraki ら³¹⁾ は、未固定標本 9 肩を対象に肩峰下接触圧を検討した結果、肩関節外転 59° において接触圧が最も高まることを報告している。本章の結果では若年者において外転角度 60° で多くの被験者が肩峰の下方を大結節が通過していた。これは、Muraki らが献体にて行った研究を支持する結果であり、超音波診断装置を用いた生体への AHD の評価が妥当であったと考えられる。

加えて若年者に比べ高齢者では肩関節外転が小さい角度において肩峰最突出部の下方を、上腕骨大結節外側端が通過し、若年者は角度が増加するとともに段階的に AHD が減少するが、高齢者は角度が増加するとともに急激に AHD が減少することが明らかとなった。高齢者で急激に AHD が減少し肩関節外転が小さい角度で上腕骨大結節外側端が通過したのは、正常な肩関節外転運動では三角筋と棘上筋などの腱板が共同作用により不安定に滑ることなく、関節の安定化が起こるが、加齢に伴い、腱板の関節窩に上腕骨頭の引きつけを行う安定化作用が低下し、三角筋などが強く働くことによりその共同作用が崩れ不安定になることが考えられる。さらに肩関節の外転角度の増加による肩甲上腕関節にかかる負担に耐えることが困難となり、高齢者では $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ と肩関節外転が小さい角度にて肩甲骨の上方回旋角度が減少した状態で上腕骨頭は挙上し、肩峰の下方を通過したため急激な AHD の変化が生じたと考える。

また、肩関節挙上における Painful arc についていくつかの報告がされている。先行研究として 1977 年に Kessel と Watson³²⁾ は、挙上時 $60^{\circ} \sim 120^{\circ}$ で疼痛が発生する弧を Painful arc と名付け診断に用い、肩甲上腕リズムの破綻によって生じると報告している。Cloke ら³³⁾ は、Painful arc の原因を、肩峰下滑液包の炎症や上腕骨と肩峰が棘上筋を挟み込むことにより生じる筋の損傷とも報告している。本章の結果では、若年健常者においては $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ で、健常高齢者では、1 肩を除き $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ で全ての肩が肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過していることから Painful arc の開始が 60° であるということ本章の結果は支持した。さらに、高齢者においては、若年者に比べ肩関節外転が小さい角度で肩峰下インピンジメントを生じるリスクが高いことも示唆された。

以上のことより、肩関節外転運動に伴う肩峰下での接触動態を考慮すると、本章から得られた結果より若年者では、 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 付近、さらに高齢者では $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 付近での運動は肩峰下インピンジメントへの注意を要すると考える。本章の結果は、肩関節障害予防のための指標となり、加齢による肩関節機能への影響を理解する上で有益な情報になると考えられる。

2-4-4 本章の限界

本章の限界は、少ない被験者数での分析の結果であることや、体幹に対する肩関節外転角度を用いて測定を行ったが、Neer impingement signなどの理学検査では肩甲骨を固定して上肢挙上が行われるため、肩甲骨の固定の有無による影響など、今後はどの肩甲上腕関節角度で大結節周囲の組織が肩峰と上腕骨頭に挟まれるのか調べる必要がある。また、インピンジメント疾患や肩関節痛を有する被験者等についても健常者との比較などについて今後分析していく必要がある。

2-5 第2章のまとめ

本章により肩関節外転運動において、肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過する角度が、若年者に比べ高齢者では肩関節外転が小さい角度において通過していることが明らかとなり、若年者は角度が増加するとともに段階的に AHD が減少するが、高齢者では角度が増加するとともに急激に AHD が減少していることが明らかとなった。

第3章 若年者と高齢者を対象とした肩関節外転角度の増加による肩甲骨の三次元動態変化と肩峰骨頭間距離との関係

3-1 本章の目的

本章の目的は、肩関節の外転角度の増加による肩甲骨の三次元動態変化を分析し、若年者と高齢者において比較した上で、三次元的な肩甲骨の動きと AHD の関係を明らかにすることを目的とする。本章の評価によって肩関節障害と関節機能面の関連を把握できるとともに、若年者と高齢者の基礎データを比較検討することで各年代の AHD と肩甲骨の動きの特徴を明らかにすることができる。また、AHD は肩関節疾患を評価する指標として最も妥当性が高いといわれているが、この指標と肩関節の三次元的な動態の関連性が明らかになれば、さらに強固な評価指標として臨床上で用いることが可能となる。

3-2 対象および方法

3-2-1 対象と被験者の選定方法

第2章と同様である。

3-2-2 実験条件

測定角度は、肩関節外転 0° ～ 80° までの角度で、 10° ごとに測定を実施した。角度の測定に関しては、東大式ゴニオメータを使用し、同一の検査者（臨床経験を9年有する理学療法士）が実施した。課題肢位は立位で、肘関節は伸展位、前腕は中間位（橈骨の延長線上に第一中手骨が位置するよう操作定義）に設定して行った。測定順は、コンピュータにてランダム化した。上記の実験条件は第2章と同様である。

3-2-3 計測方法

超音波診断装置による測定方法は第2章と同様であるが、超音波診断装置による AHD 計測と同時に赤外線カメラ9台により構成される三次元動作分析装置(VICON 社製)を用いて、肩甲骨の三次元的な運動学的計測を実施した。直径14mmの赤外線反射マーカを被験者の両肩峰下部、両肩甲骨下角、肩甲棘基部、の合計6箇所貼付し標点とした(図5a)。サンプリング周波数は100Hzとした。また、肩関節外転時の皮膚によるマーカへのブレの影響を小さくするために、先行研究において最も皮膚ブレが生じるとされる肩甲骨下角のみ各肩関節外転角度において貼りなおした。信頼性の検討としては、同一検査者が2回の測定を繰り返し実施し、マーカをその際に貼り換えて計測した結果、ICC(1,1)は、0.955となり、桑原らの判定基準によると Great であった。また、各測定時間は、5秒間とし回数は2試行実施した。試行毎に十分の休憩をとることで、疲労による影響に配慮した。また、測定順は、コンピュータにてランダム化した。

3-2-4 解析方法

サンプリング100Hzで計測した赤外線反射マーカの座標データに6Hzのローパスフィルタ(二次の Butterworth フィルター) をかけた。肩甲骨については肩峰下部, 肩甲骨下角, 肩甲骨棘基部の3点を基に肩甲骨座標系を作成した(図5a)。その後, Vaughan らの方法に準じてカルダン角(オイラー角)を用いて絶対座標系に対する肩甲骨座標系の角度を三次元的に算出した。また, すべての体節の座標系はX, Y, Zの順序で回転させた。X軸は前後傾として後傾を+とし, Y軸は上下方回旋として上方回旋を+, さらにZ軸は, 内外旋して外旋を+とそれぞれ定義した(図5b)。

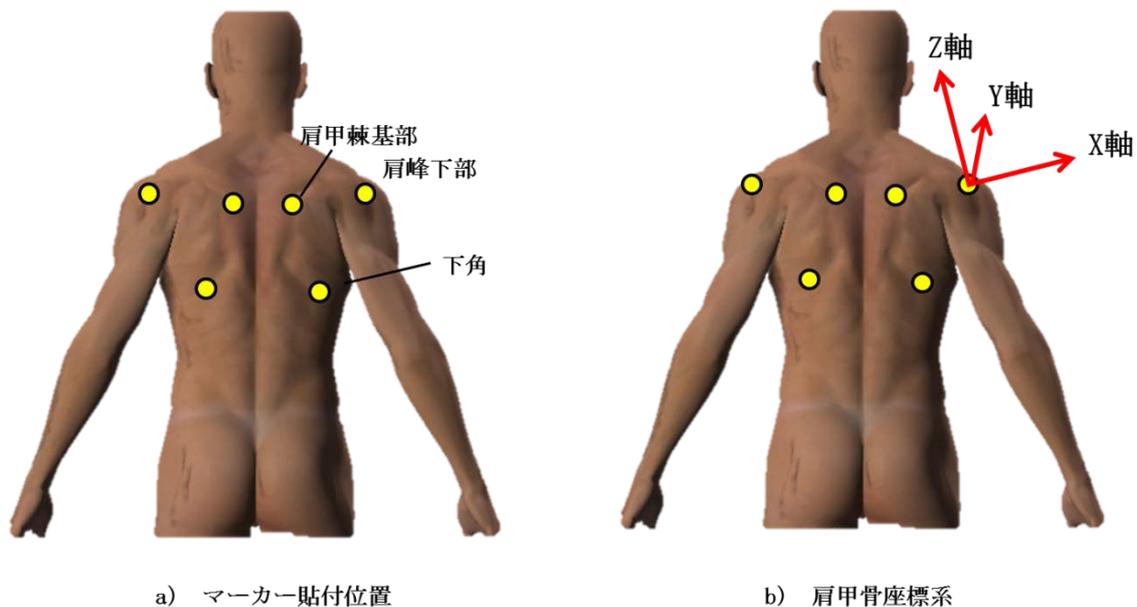


図5 赤外線反射マーカの貼付位置と肩甲骨座標系

3-2-5 統計解析方法

2 試行の平均値を代表値とした。肩関節外転角度の変化による肩甲骨の動きの比較には, 肩関節外転角度と左右を二要因とした二元配置分散分析反復測定法を行い, その後, 多重比較検定 Bonferroni 法を用いた。さらに若年者と高齢者における肩甲骨の動きの比較として, 右肩関節において年齢と肩甲骨の動きを二要因とした条件間の比較には二元配置分散分析反復測定法を行った。各肩関節外転角度における若年者と高齢者の比較には対応のない t 検定を用いた。また, AHD と肩甲骨の三次元的な角度の関係を調べるために Pearson の相関係数を用いた。若年者と高齢者の肩甲骨上腕リズムを検討するために, 肩甲骨上方回旋角度と肩関節外転角度 ($0^{\circ} \sim 80^{\circ}$) の直線回帰分析を実施し, 得られた回帰式の傾きを肩関節外転角度に対する肩甲骨の動きの比率とした。

また, 統計処理において有意水準5%で判定をした。統計には統計ソフト IBM SPSS Statistics 21 を使用した。

3-3 結果

3-3-1 若年者と高齢者における肩甲骨上腕リズムの比較

肩関節外転運動における上腕骨と肩甲骨の関係性である肩甲骨上腕リズムは、若年者では3.5:1の割合となった。また、肩関節外転角度と肩甲骨の動きの決定係数は0.98となり強い相関を認めた。次に高齢者における肩甲骨上腕リズムは4.4:1の割合となった。また、肩関節外転角度と肩甲骨の動きの決定係数は0.96と若年者と同様に強い相関を認めた(図6)。

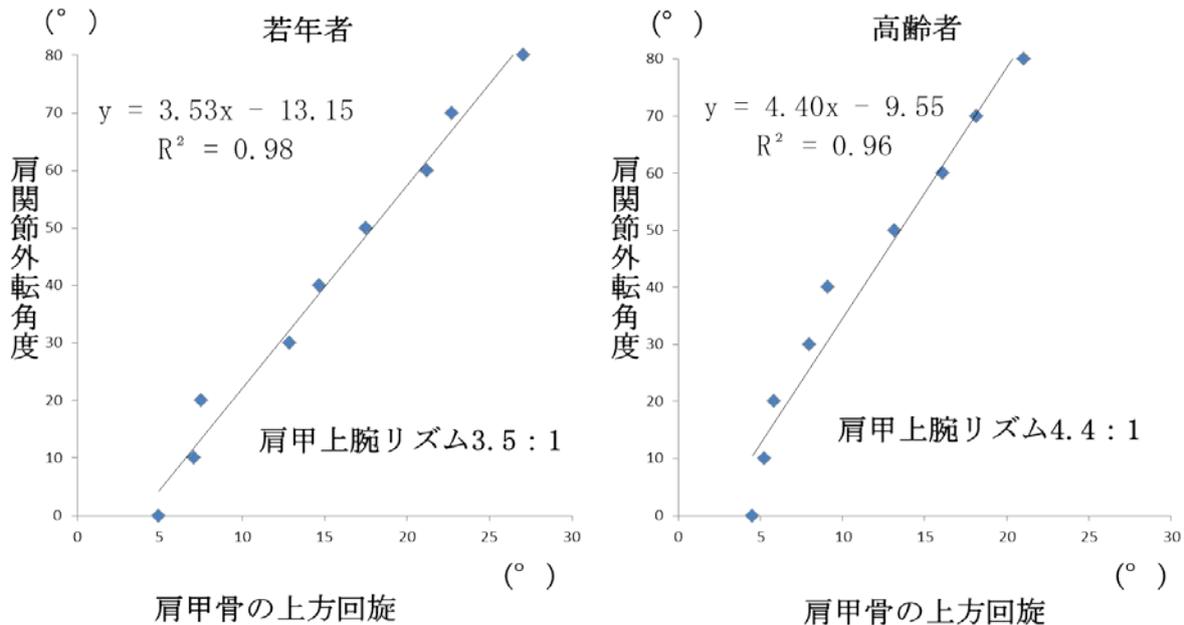


図6 右肩関節における若年者と高齢者における肩甲骨上腕リズム

3-3-2 異なる肩関節外転角度における肩甲骨の運動学的変化の年代による比較

若年者と高齢者における肩関節外転角度と左右を二要因とした二元配置分散分析反復測定法の結果を示す。若年者は、後傾角度については、交互作用は認められず、肩関節外転角度に主効果を認めたが、左右には主効果を認めなかった(表5a)。高齢者は、交互作用は認められず、角度において主効果を認めたが左右には認めなかった(表5b)。若年者、高齢者ともに肩甲骨の上方回旋角度については、交互作用は認められず、肩関節外転角度と左右に主効果を認めた(表6a b)。

肩甲骨の内旋角度については、若年者は、交互作用は認められず、肩関節外転角度に主効果を認めたが、左右には主効果を認めなかった(表7a)。高齢者では交互作用は認められず、肩関節外転角度と左右ともに主効果を認めなかった(表7b)。

3-3-3 若年者と高齢者における肩関節外転運動でのAHDと肩甲骨の動きの比較

若年者と高齢者における肩関節外転角度と年代を二要因とした二元配置分散分析反復測定法の結果を表8abcに示す。前傾角度において年齢に主効果を認めず、肩関節外転角度において主効果が認められた。次に、上方回旋角度では年齢に主効果を認め、肩関節外転角度でも主効果を認め

た。内旋角度では、年齢に主効果を認めたが、肩関節外転角度においては主効果を認めなかった。対応のない t 検定の結果より、肩甲骨の前傾角度においては、全ての角度で有意差を認めなかった。次に、上方回旋角度では 30° 以降の各角度で有意差を認めた。内旋角度では、全ての角度にて有意差を認めた。

肩関節外転運動における AHD と肩甲骨の前傾角度の若年者と高齢者の相関係数は、それぞれ 0.969 (p=0.000) と 0.954 (p=0.000) となり、いずれも強い相関が認められ、決定係数はいずれも 0.8 以上と高い値を示した。次に肩関節の AHD と肩甲骨の上方回旋角度の相関関係は、若年者と高齢者の相関係数はそれぞれ -0.974 (p=0.000) と -0.805 (p=0.009) となり、負の相関が認められた。若年者の決定係数は 0.903 で非常に高い値を示したが、高齢者では 0.627 程度の値となっていた。肩関節外転運動における AHD と肩甲骨の内旋の相関関係は、若年者の相関係数は 0.863 (p=0.03) と相関を認めたが、高齢者では 0.445 (p=0.23) となり、相関を認めなかった。若年者の決定係数は 0.7 以上と高い値を示した。

表 5a 若年者における肩甲骨前傾と肩関節外転角度の関係

	肩関節外転角度 (deg)									主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
右肩関節	12.0±4.4	10.3±4.3	9.1±3.5	7.9±4.7	6.3±5.1	4.8±4.2	5.2±3.6	3.8±2.9	3.2±1.8				
左肩関節	12.6±4.9	10.3±4.1	9.4±4.2	9.35±6.0	6.8±5.1	5.6±4.8	5.2±3.9	5.0±3.3	4.2±3.2	p=0.451	p=0.000	p=0.867	0° とその他の角度で有意差を認めた

表 5b 高齢者における肩甲骨前傾と肩関節外転角度の関係

	肩関節外転角度 (deg)									主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
右肩関節	13.5±6.5	12.2±6.6	10.1±6.7	8.7±6.1	7.0±4.8	6.9±5.1	6.1±5.6	4.6±4.4	4.5±3.1				
左肩関節	10.3±6.8	9.0±7.1	8.1±7.9	7.7±6.8	6.5±7.5	6.2±7.2	5.9±5.6	5.4±5.0	5.1±3.8	p=0.270	p=0.013	p=0.181	0° とその他の角度で有意差を認めた

表 6a 若年者における肩甲骨上方回旋と肩関節外転角度の関係

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
右肩関節	4.9±4.1	7.1±4.3	7.5±7.5	12.9±4.3	14.7±6.2	17.5±5.2	21.2±5.4	22.7±5.4	27.0±4.5				
左肩関節	2.3±5.5	4.3±4.7	6.4±6.4	9.1±5.4	11.7±5.9	15.4±7.0	16.6±6.1	18.2±8.2	22.0±9.0	p=0.018	p=0.000	p=0.451	0° とその他の角度で有意差を認めた

表 6a 高齢者における肩甲骨上方回旋と肩関節外転角度の関係

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
右肩関節	4.5±3.0	5.3±3.6	5.9±4.2	8.0±4.4	9.1±5.4	13.2±6.0	16.1±6.0	18.2±6.8	21.0±6.9				
左肩関節	7.4±4.8	7.8±6.3	9.2±6.3	12.5±5.1	15.0±6.3	18.3±6.3	19.1±6.9	24.1±5.2	25.9±5.9	p=0.016	p=0.000	p=0.959	0° とその他の角度で有意差を認めた

表 7a 若年者における肩甲骨内旋と肩関節外転角度の関係

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
右肩関節	28.0±5.2	26.4±6.1	26.1±7.2	25.8±7.2	23.8±7.0	25.1±6.6	27.9±9.1	28.3±7.2	27.4±7.3	p=0.062	p=0.031	p=0.148	0° と 20°, 0° と 30°, 0° と 50°, 0° と 70°, 0° と 80°
左肩関節	26.8±4.7	24.0±6.2	23.9±5.8	22.7±5.7	23.1±7.2	21.7±7.1	20.6±6.3	19.7±7.4	20.4±7.1				

表 7b 高齢者における肩甲骨内旋と肩関節外転角度の関係

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(左右)	主効果(角度)	交互作用	多重比較検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
右肩関節	32.1±11.1	33.0±10.2	33.2±11.3	31.5±7.1	33.6±7.8	32.5±6.9	33.1±6.6	32.2±6.2	33.2±7.1	p=0.590	p=0.638	p=0.560	n.s
左肩関節	32.8±5.1	30.9±7.7	31.0±7.0	33.1±6.5	32.6±6.5	30.9±6.3	31.6±8.2	31.8±6.1	32.0±7.0				

表 8a 若年者と高齢者における肩甲骨の前傾の比較

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(年齢)	主効果(角度)	交互作用	対応のない t 検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
若年者	12.0±4.4	10.3±4.3	9.1±3.5	7.9±4.7	6.3±5.1	4.8±4.2	5.2±3.6	3.8±2.9	3.2±1.8	p=0.055	p=0.000	p=0.611	全ての角度で有意差を認めなかった。
高齢者	13.5±6.5	12.2±6.6	10.1±6.7	8.7±6.1	7.0±4.8	6.9±5.1	6.1±5.6	4.6±4.4	4.5±3.1				
t 検定	0.39	0.29	0.59	0.07	0.22	0.17	0.58	0.56	0.11				

表 8b 若年者と高齢者における肩甲骨の上方回旋の比較

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(年齢)	主効果(角度)	交互作用	対応のない t 検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
若年者	4.9±4.1	7.1±4.3	7.5±7.5	12.9±4.3	14.7±6.2	17.5±5.2	21.2±5.4	22.7±5.4	27.0±4.5	p=0.004	p=0.000	p=0.250	30° 以降の各角度で有意差を認めた。
高齢者	4.5±3.0	5.3±3.6	5.9±4.2	8.0±4.4	9.1±5.4	13.2±6.0	16.1±6.0	18.2±6.8	21.0±6.9				
t 検定	0.74	0.18	0.42	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.03	<0.01				

表 8c 若年者と高齢者における肩甲骨の内旋の比較

	肩関節外転角度 (deg.)									主効果(年齢)	主効果(角度)	交互作用	対応のない t 検定の結果が有意 (p<0.05) となった組み合わせ
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°				
若年者	28.2±5.2	25.8±6.1	25.3±7.2	24.3±7.2	25.1±7.0	22.9±6.6	23.5±9.1	22.9±7.2	22.7±7.3	p=0.000	p=0.714	p=0.135	全ての角度で有意差を認めた。
高齢者	32.8±5.1	30.9±7.7	31.0±7.0	33.1±6.5	32.6±6.5	30.9±6.3	31.6±8.2	31.8±6.1	32.0±7.0				
t 検定	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01				

3-4 考察

本章では、超音波診断装置と三次元動作分析装置を用いて肩関節外転角度の増加による肩甲骨の三次元的な動きの変化を分析し、さらに AHD と肩甲骨の動きの関係性を検討した。その結果、若年者に比べ高齢者では、肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の上方回旋角度と外旋角度が減少し、肩甲骨の動きは加齢により特異的な三次元的変化を示した。さらに肩関節疾患者と近似した傾向を示し仮説通りの結果となった。

また、肩関節外転角度の増加に伴う AHD と肩甲骨の動きの関係性は、若年者では AHD と肩甲骨の上方回旋、前後傾、内旋の動きに高い相関を認めたが、高齢者では上方回旋と前後傾の動きには AHD と相関を認めたが、内旋の動きと AHD には相関を認めず、仮説通り高齢者に比べ、若年者では AHD と肩甲骨の動きに高い相関が得られた。

3-4-1 肩甲上腕リズムを指標とした肩甲骨評価の妥当性の検証および年代による比較

肩甲上腕リズムは、1934年にCodmanにより概念化され、その後、Inman(1944)らにより、この上腕骨に追従する肩甲骨の運動の割合が2:1と初めて定量的に報告された。

Freedman and Munro(1966)らは、肩甲骨面での静的なレントゲン撮像を用いて肩甲上腕リズムを検証し、肩関節挙上に伴い1.43:1から2.73:1に変化した報告している。さらに、Poppen and Walker(1976)はレントゲン撮像を用いて肩甲上腕リズムが1.25:1と報告している。Johnson(1993)らは、肩甲骨の3つの骨特徴点(肩甲棘の両端と下角)に装具を当て、面を構成し、その面の方位により、電磁ゴニオメータを用いて初めて3次元的に肩甲上腕リズムを測定した。McQuadeら(1998)は、4名の30代の対象者に対し、右肩関節に対し座位にて肩関節外転 0° 、 45° 、 90° 、 135° の4条件で電磁ゴニオメータを直接、肩峰の皮膚表面に貼付し肩甲骨の方位を測定し、肩甲上腕リズムが3.2:1から4.3:1であることを報告している。その後、McClure(2001)らは、電磁ゴニオメータを肩甲骨に骨ピンで固定し、肩甲上腕リズムは1.7:1であったことを報告している。さらにLudewig(2009)ら³⁴⁾の報告によると、前額面の挙上で2.1:1であることを報告している。

本章の三次元動作分析装置を用いた測定結果において、肩甲上腕リズムは若年者で3.5:1となり、McQuadeらの結果と近似していた。我々の測定では皮膚ずれの影響を小さくするために、肩甲骨下角のマーカーを肩関節外転角度を変化させる毎に貼付しなおして計測を行った。結果として、骨ピンを用いた侵襲的な計測に近い妥当性は得られなかったが、電磁ゴニオメータを肩に貼付した三次元的な肩甲骨の測定方法と同程度の妥当性を有することが示された。

また本章の結果において、若年者の肩甲上腕リズムが3.5:1であったのに対し、高齢者の肩甲上腕リズムは4.4:1となり、肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の動きは高齢者の方が小さくなることが明らかとなった。白浜(1996)ら³⁵⁾は、28歳から66歳までの肩関節に明らかな運動制限や疼痛の訴えがない男性10例10肩を対象に肩関節運動時の肩甲骨の上方回旋について検討した結果、肩甲上腕リズムは加齢により変化すると述べており、白浜らの結果を支持した。

3-4-2 若年者と高齢者の三次元的な肩甲骨の動きの変化の比較

肩甲骨の三次元な角度における肩関節外転角度と左右を二要因とした二元配置分散分析反復測定法の結果で交互作用が認められなかったことから、肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の三次元的な動きは若年者と高齢者ともに左右で同様の傾向であったといえる。また、肩関節外転角度と年代を二要因とした二元配置分散分析反復測定法の結果より交互作用が認められなかったことから、肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の三次元的な動きは若年者と高齢者で同様の傾向であったといえる。

高齢者は、肩関節外転運動に伴い若年者に比べ肩甲骨の上方回旋角度と外旋角度が減少していた。これは、先行研究で述べられているインピンジメント疾患肩など肩関節疾患と同様の傾向であり、加齢による特異的な三次元的変化を示し、本研究の仮説を裏付ける結果を得ることが出来たと考える。

Ludewigらの先行研究では、肩関節外転運動に伴って肩甲骨が後方に傾斜することを示している。この肩関節挙上に伴う肩甲骨の後傾は、上腕骨大結節が肩峰下に棘上筋腱および軟部組織を

挟み込むのを回避するのに重要な役割を果たしていると考えられている (Lukasiewicz ら 1999; Ludewig and Cook 2000³⁶⁾; McClure ら 2001). 本章においても若年者, 高齢者ともに肩関節外転運動に伴い肩甲骨は後傾方向に変化しており, 年代による主効果は認められなかった. このことから高齢者においても肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の後傾への動きは保持されていたといえる.

一方で, 肩関節外転に伴う肩甲骨の上方回旋と内旋では年代による主効果がみとめられた. また, 対応のない t 検定の結果より, 肩関節外転角度 30° 以降で肩甲骨の上方回旋に, 20° 以降で内旋に若年者と高齢者の間に有意差がみられた. Inman らは肩関節外転が小さい角度 30° までは肩甲骨の上方回旋の動きが生じないと報告している. よって, 肩甲骨の上方回旋が始まる肩関節外転が小さい角度以降で若年者と高齢者の間に有意差がみられたと考えられる.

また, Ludewig らは肩甲骨の上方回旋の動きには内旋角度の減少が必要であることを報告している. 本章において若年者と高齢者の肩甲骨上方回旋に有意差がみられる肩関節外転が小さい角度以降では, 肩甲骨の内旋が高齢者で若年者よりも有意に増加しているため, 肩甲骨の上方回旋角度が高齢者で減少したと考えられる. このことは高齢者では肩関節を外転させるために必要となる正常な肩甲骨の三次元的な動きが得られなくなっていることを示している.

3-4-3 肩関節外転運動における加齢による AHD と肩甲骨の動きに対する影響

本研究は若年者と高齢者における肩関節外転運動での肩峰下接触動態を測定し, さらには肩甲骨の三次元的な動きの変化とその関係性を比較検討した初めての報告である. 肩関節外転運動における AHD と肩甲骨の前傾角度は, 若年者と高齢者ともに強い正の相関を認めた. 決定係数はいずれも 0.9 以上の値を示しており, AHD の減少と肩甲骨の後傾は 80%以上の強い関係性があるといえる. 肩関節外転角度の増加による肩甲骨の後傾角度の変化の傾向は若年者と高齢者で一致していたことも合わせると, 加齢による肩甲骨の後傾への影響はほとんどなく, AHD への影響も小さいと考えられる.

また, 肩関節外転運動における AHD と肩甲骨の上方回旋角度は, 若年者と高齢者ともに強い負の相関を認めた. 決定係数は若年者では 0.9 以上の値を示しており, AHD の減少と肩甲骨の上方回旋は 90%と非常に強い関係性があるといえる. しかし, 高齢者では決定係数は 0.6 程度となり, 若年者と比較すると関係性は乏しくなる. Inman (1944) らは, 通常の肩甲骨の回転からの逸脱は肩関節の機能障害と関連すると報告し, その後の追研究として, 肩関節に機能傷害のある患者では, 肩関節挙上時の肩甲骨の回転が健常者とは異なることを報告している (Lukasiewicz ら 1999, Ludewig and Cook 2000). さらに Lin (2006) ら³⁷⁾ は, 肩関節周囲炎の患者では, 肩甲上腕関節の制限が重度な時期では, 肩甲骨の上方回旋は低下すると報告している. 本章の結果においては, 肩甲骨の上方回旋角度が若年者に比べ有意に高齢者では減少していた. これは, 加齢に伴い高齢者は肩関節周囲炎やインピンジメント疾患に近い肩関節の機能状態であり, 肩関節外転運動においては疾患肩と同様の肩甲骨の三次元的な動きの傾向を示したと考える.

次に, 肩関節外転運動における AHD と肩甲骨の内旋角度は若年者では 0.8 以上の相関係数を示した. 決定係数は, 0.75 以上の値を示しており, AHD の減少と肩甲骨の内旋は 80%に近い関係性があるといえる. しかし, 高齢者では肩関節外転角度の増加による AHD と肩甲骨の内旋の関係性

は認めなかった。Borstad and Ludewig (2005)³⁸⁾は、小胸筋の筋長が短縮している対象者では肩関節外転運動では、肩甲骨の内旋が大きく、後傾が小さいことを報告している。また、Oqston (2007)ら³⁹⁾は、肩関節不安定症患者を対象に、前額面上の外転運動を三次元的に解析し、健康者と比べると肩甲骨の上方回旋が減少し、内旋が増加することを報告している。本章では、高齢者において内旋が若年者に比べて有意に大きい値となっていた。これは、加齢に伴い高齢者では頭部前方位姿勢などの不良姿勢となることで胸椎が後弯し上肢の重みで肩甲骨が前傾し肩甲骨が比較的外転かつ内旋位となる。高齢者では肩関節外転運動における上方回旋や外旋運動を制限する小胸筋や肩甲挙筋、菱形筋などの肩甲帯周囲筋が短縮すること、肩甲骨の上方回旋や外旋運動に働く前鋸筋や僧帽筋の筋力低下など加齢による退行性変性により、肩甲骨の内旋角度が増加したと考えられる。また、白浜(1996)らは、28歳から66歳までの肩関節に明らかな運動制限や疼痛の訴えがない正常男性10例10肩を対象にレントゲン撮影にて肩関節運動時の肩甲骨の傾きについて検討した結果、高齢者では肩関節を挙上させる際、外転が小さい角度より肩甲骨の動きが大きく、肩甲上腕リズムは加齢に伴う退行性変性により変化すると述べている。田中(1995)ら⁴⁰⁾は、幼児と30歳代、60歳代で上肢挙上時の肩甲骨の動きを比較した結果、その動きは加齢に伴い大きく減少していることを報告し、その理由を加齢による可動性の低下、柔軟性の低下、筋力低下がひとつの契機となっていることを考察している。また、篠田は、骨盤後傾位が肩甲上腕リズムに及ぼす影響を考察しており、その中でも骨盤の後傾に伴う連鎖として腰椎後弯や肩甲骨外転および前方傾斜の増大が生じた結果、肩甲骨の上方回旋角度が減少し上肢挙上角度も減少したと述べている。Lewis(2005)⁴¹⁾らは、インピンジメント疾患の有無による肩甲骨の上方回旋角度などを比較した結果、インピンジメント疾患群では、有意に上方回旋角度が減少し、さらに胸椎の後弯が増加することにより上方回旋が制限されることを報告している。

肩関節を外転する上で、肩甲骨の上方回旋には後傾角度と内旋角度の減少が必要となるが、高齢者では、加齢に伴い肩甲帯周囲筋の筋力低下や不良姿勢により肩甲骨が正常アライメントではない状態から肩甲骨の上方回旋が開始し、さらには肩甲骨の内旋角度に変化がなく、上方回旋も減少した状態で上腕骨を挙上するためAHDの急激な減少につながったと考えられる。これは、肩関節疾患者と近似した傾向であり、高齢者における肩甲骨の三次元的な動きの特徴となり、肩峰下接触動態への加齢による影響とも考えられる。

3-4-4 本章の限界

本章の限界として、インピンジメント疾患や肩関節に疼痛を有する者を対象とできなかった点が挙げられる。高齢者の肩関節の状態はインピンジメント疾患者に近いことを示すことができたが、実際の疾患者と比較していないため、確実ではない。

次に、皮膚の動きによる貼付したマーカーと肩甲骨の測定誤差が考えられる。肩関節の外転運動に伴い、骨が動くとともにそれに連動して付近の皮膚も動く。たとえば、肘関節付近の皮膚は上腕骨の動きとほぼ同じように変化する。しかし、肩甲骨は皮膚の下をすべるように動く。肩甲骨付近の皮膚表面のある点の姿勢も肩甲骨の動きに伴って変化すると考えられるが、このときの変化は必ずしも骨の動きと一致しない。上腕骨が挙上していくと、上腕の皮膚と肩甲骨周辺の皮膚の距離が短くなり、肩峰付近の皮膚が弛むため多少の骨と皮膚の測定誤差は生じると考えられる。菊

入⁴²⁾らは、モーションキャプチャ・システムを用いて上肢挙上による肩甲骨特徴点に対するマーカークの偏位を検討した結果、骨ランドマークとその皮膚表面の位置が上腕骨の挙上に伴い、皮膚と骨の位置の誤差が最も小さい部位が肩鎖関節部であり、マーカーが最も大きく偏位したのは肩甲骨下角であったことを報告し、さらに体表マーカーを正しい骨特徴点位置に貼付し直すことで偏位が軽減したことも確認している。また、Lewis (2002)⁴³⁾らは献体を用いて肩甲骨のランドマークの位置は1 cm以下の誤差で触診が可能であったことを報告している。本章では、研究責任者1名が触診により座標系の設定を行っている。Levasseur (2007)⁴⁴⁾らは、座標系の設定による多少の角度の違いは、オイラー角に変化量に大きな差を与えないことを報告している。これらのごとより、本章では肩甲骨下角のマーカーのみを貼りなおす配慮をしたが、骨ピンを使用した先行研究と近似したデータを得ることができなかった。

また、今回は肩甲骨の三次元的角度変化のみを測定したが、高齢者の肩関節周囲筋や骨盤や体幹のアライメントに対する加齢変化を分析していなかった。前述のように骨盤と体幹のアライメントがAHDや肩甲骨の動きに影響を及ぼしていることが考えられることから、今後分析が必要な課題である。

3-5 第3章のまとめ

肩関節外転角度の増加によるAHDと肩甲骨の三次元動態変化の分析を行ったところ若年者と高齢者では、AHDと肩甲骨の前後傾および上方回旋に強い相関関係を認め、内旋は若年者においてはAHDとの相関関係が認められたものの、高齢者では相関関係が認められないことが明らかとなった。また、肩関節外転運動における肩甲骨の上方回旋は若年者ではAHDの変化と一致しており同じ傾向を示した。しかし、高齢者においては肩関節外転運動に伴いAHDは急激に減少し、肩甲骨の上方回旋は、セッティングフェイズである外転角30°を超えた角度でも肩甲骨の動きは乏しく若年者に比べ小さい値となり、AHDとの関係性は一致していなかった。肩甲骨の内旋では、若年者ではAHDと関係性を認めたが、高齢者では関係性を示さなかった。これは、加齢に伴い肩甲帯周囲筋などが筋力低下を起こすことによって肩甲骨が正常のアライメントではなくなり、さらに頭部前方位姿勢など姿勢不良により肩甲骨が内旋位となり、内旋位からの肩関節の外転の動きは角度も変化させても肩甲骨の内旋の動きはほとんど起きなかったと考える。以上のことより、高齢者は肩関節を外転させる際に、肩甲骨の上方回旋と内旋が起きない状態で肩関節を外転させるためAHDが急激に減少したと考えられる。

第4章 本研究の総括

本研究は、超音波診断装置と三次元動作分析装置を用いて肩関節外転運動における若年者と高齢者のAHDの変化と肩甲骨の三次元的な動きの変化を分析し、若年者と高齢者の基礎データを比較検討した上で、加齢に伴う肩峰下接触動態への影響やその三次元的な肩甲骨の動きとAHDの関係性を明らかにすることを目的とした。その結果、第2章では肩関節外転角度の増加に伴い、若年者は角度が増加するとともに段階的にAHDが減少するが、高齢者では角度が増加するとともに急激にAHDが減少していることが明らかとなり、肩峰最突出部の下方を上腕骨大結節外側端が通過する角度が、若年者に比べ高齢者では小さい角度において通過していることが明らかとなった。この結果から、若年者では肩関節外転角度 40° ～ 60° 付近、さらには高齢者では 30° ～ 50° 付近での運動を行う際は肩峰下インピンジメントを注意するなど、適切な治療を選択でき、肩関節障害を予防することにつながる有益な情報であると考えられる。

次に、第3章では、肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の三次元的な動きの変化を検討し、さらにAHDと肩甲骨の三次元的な動きの関係性を検証した。その結果、若年者に比べ高齢者では、肩関節外転角度の増加に伴う肩甲骨の上方回旋角度、外旋角度が減少していることが明らかとなった。さらに、肩関節外転角度の増加に伴うAHDと肩甲骨の動きの関係性は、若年者ではAHDと肩甲骨の上方回旋、前後傾、内旋の動きに高い相関を認めたが、高齢者では上方回旋と前後傾の動きにはAHDと相関を認めたが、内旋の動きとAHDには相関を認めず、高齢者に比べ、若年者ではAHDと肩甲骨の動きに高い相関が得られた。この結果から、肩関節外転運動におけるAHDと肩甲骨の動きに関係性があることが明らかとなり、AHDがより強固な肩関節の評価指標になると考える。超音波診断装置は、リアルタイムな評価が可能であり、侵襲を伴わず安全性が高い。本研究より、AHDを評価することで肩甲骨の動きを予測することが可能であることが示唆された。従来、三次元的な肩甲骨の動きを計測するには、本研究で用いた三次元動作分析装置やレントゲン撮像、さらには骨ピンなど侵襲を伴う方法が用いられているため、実用的な臨床での評価法としては期待できない。しかし、本研究で用いた超音波診断装置によるAHD測定法は、さらに強固な肩関節の評価指標として理学療法分野で用いられることが期待できる。

以上より、本研究は、肩関節を動かす際のAHDの変化を捉え、さらに加齢による肩甲骨の三次元的な動きに与える影響などを明らかにした。これらは、肩関節障害と関節機能面の関連を把握するとともに、肩峰下の接触が強くなる運動を制限するための基礎データとなることから、理学療法分野における予防リハビリテーションの重要な知見となると考える。

謝辞

本研究は、国際医療福祉大学保健医療学部黒澤和生教授の指導の下に行われました。黒澤和生教授には修士、博士課程を通じて公私ともに大変お世話になりました。常に暖かいご指導を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。

副指導教員である国際医療福祉大学小田原保健医療学部勝平純司講師には、すべての研究に関する貴重なご助言と厳しくも暖かい論文指導を賜りました。また、小田原保健医療学部の先生方には、たくさんのサポートをしていただきました。

東北大学リハビリテーション部村木孝行先生からは、研究デザインのヒントをいただき、さらには多くの御助言と丁寧な論文指導を賜りました。心より感謝申し上げます。

小田原保健医療学部理学療法学科の学部生には、計測のお手伝いや被験者の対応をしていただきました。皆さんと共に学び、計測する日々はとても楽しく貴重な経験でした。本当にありがとうございました。

最後に、私のこれまでの生活を支えてくれた家族に心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

文献一覧

- 1) Nakamura M, Nishiwaki Y, Ushida T, et al. Prevalence and characteristics of chronic musculoskeletal pain in Japan. *J Orthop Sci* 2011;16:424-432
- 2) Neer CS. Impingement Lesions. *Clin. Orthop* 1983;173:70-77
- 3) Walch G, Boileau P, Donel E, et al. Impingement of the deep surface of the supraspinatus tendon on the posterosuperior glenoid rim: An arthroscopic study. *J Shoulder Elbow Surg* 1992;1(5):238-245
- 4) Seitz AL, Michener LA. Ultrasonographic measures of subacromial space in patients with rotator cuff disease: A systematic review. *J Clin Ultrasound* 2011;39(3):146-154
- 5) Azzoni R, Cabitza P, Parrini M. Sonographic evaluation of subacromial space. *Ultrasonics* 2004;42:683-687
- 6) Desmeules F, Minville L, Riederer B, et al. Acromio-humeral distance variation measured by ultrasonography and its association with the outcome of rehabilitation for shoulder impingement syndrome. *Clin J Sport Med* 2004;14(4):197-205
- 6) Codman, E. A. *The Shoulder*. Boston: Privately Printed 1934
- 7) Inman, VT, Saunders FRCS, Abbott LC. Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg* 1944;26:1-30
- 8) Freedman, Munro. Abduction of the Arm in the Scapular Plane: Scapular and Glenohumeral Movements, *J Bone Joint Surg* 1966;A48(8):1503-1510
- 9) Poppen NK, Walker PS. Normal and abnormal motion of the shoulder, *J Bone Joint Surg* 1976;A58(2):195-201
- 10) Johnson GR, Stuart PR, Mitchell S. A method for the measurement of three-dimensional scapular movement, *Clinical Biomechanics* 1993;8(5):269-273

- 11) 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(2):125-133
- 12) Koh TJ, Grabiner MD, Brems JJ. Three-Dimensional in vivo kinematics of the shoulder during humeral elevation. *Journal of Applied Biomechanics* 1998;14(3):312-326
- 13) McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, et al. Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movement in vivo. *J Shoulder Elbow Surg-American* 2001;91A(2):378-389
- 14) Endo K, Ikata T, Katoh S, et al. Radiographic assessment of scapular rotational tilt in chronic shoulder impingement syndrome. *Journal of Orthopaedic Science* 2001;6(1):3-10
- 15) Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L. Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. *J OrthopSportsPhys Ther* 1999;29(10):574-586
- 16) Ludewig PM, Cook TM, Nawoczenski DA. Three-Dimensional Scapular Orientation and Muscle Activity at Selected Positions of Humeral Elevation. *J OrthopSportsPhys Ther* 1996;24(2):57-65
- 17) 鈴木信正. 日本人における姿勢の測定と分類に関する研究-その加齢変化について-. *日整会誌* 1978;52:471-492
- 18) 竹光義治. 中・高齢者の腰部変性後弯. *別冊整形外科* 1987;12:18-21
- 19) 篠田雄一. 端坐位において骨盤後傾が肩甲上腕リズムに及ぼす影響. *PT ジャーナル* 2006;40(12):1055-1060
- 20) 上田泰之, 浦辺幸夫, 大林弘宗ら. 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
- 21) 後藤康夫, 村成幸, 松田雅彦ら. 高齢者健常肩の機能評価と加齢的变化. *肩関節* 1998, 22(2):355-358
- 22) 上里元, 山本龍二, 三原研一ら. 加齢に伴う腱板機能の X 線学的検討, *肩関節* 1996;20(1):127-130
- 23) 小竹俊郎, 田村清. 腱板の加齢変化に対する超音波検査, *肩関節* 1997;21(3):473-476
- 24) Calis M, Akgun K, Birtane M, et al. Diagnostic values of clinical diagnostic tests in subacromial impingement syndrome. *Ann Rheum Dis* 2000;59(1):44-47
- 25) MacDonald PB, Clark P, Sutherland K. An analysis of the diagnostic accuracy of Hawkins and Neer subacromial impingement signs. *J Shoulder Elbow Surg* 2000;9(4):299-301
- 26) Cholewicki JJ, Kusz DJ, Wojciechowski P, et al. Ultrasound measurement of rotator cuff thickness and acromio-humeral distance in the diagnosis of subacromial impingement syndrome of the shoulder. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008;16:408-414
- 27) Bloom RA. The active abduction view: a new manoeuvre in the diagnosis of rotator cuff tears. *Skeletal Radiol* 1991;20(4):225-228
- 28) Solem BE, Thuomas KA, Westerberg CE. The influence of scapular retraction and protraction

- on the width of the subacromial space. Clin Orthop Relat Res 1993;296:99-103
- 29) Sher J, Uribe J, Posada A, et al. Abnormal findings on magnetic resonance imaging of asymptomatic shoulders. J Bone Joint Surg Am 1995;77(1):10-15
- 30) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩. 基礎運動学. 第5版. 東京:医歯薬出版 2000:187-217
- 31) Muraki T, Yamamoto N, Zhao KD, et al. : Effects of posterior capsule tightness on subacromial contact behavior during shoulder motions. J Shoulder Elbow Surg. 2012;9:1160-1167
- 32) Kessel, Watson. The painful arc syndrome clinical classification as a guide to management. J Bone Joint Surg Br 1977;59(2):166-172
- 33) Cloke DJ, Watson H, Purdy S, et al. A pilot randomized, controlled trial of treatment for painful arc of the shoulder. J Shoulder Elbow Surg 2008:17-21
- 34) Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, et al. Motion of the Shoulder Complex During Multiplanar Humeral Elevation. J Bone Joint Surg-American 2009;91A(2):378-389
- 35) 白浜克彦, 伊藤信之, 衛藤正雄ら. 正常人の肩関節運動時の肩甲骨の傾き. 肩関節 1996;20(1):97-102
- 36) Ludewig PM, Cook TM. Alterations in Shoulder Kinematics and Associated Muscle Activity in People With Symptoms of Shoulder Impingement. Phys Ther 2000;80(3):276-291
- 37) Lin JJ, Hanten WP, Olson SL, et al. Shoulder dysfunction assessment: self-report and impaired scapular movements. Phys Ther 2006;86(8):1065-1074
- 38) Borstad JD, Ludewig PM. The effect of long versus short pectoralis minor resting length on scapular kinematics in healthy individuals. J Orthop Sports Phys Ther 2005;35(4):227-238
- 39) Oqston JB, Ludewig PM. Differences in 3-dimensional shoulder kinematics between persons with multidirectional instability and asymptomatic controls. Am J Sports Med 2007;35(8):1361-1370
- 40) 田中直史, 夫猛, 朴正秀ら. 肩甲骨の加齢による可動性の変化についての検討. 肩関節 1995;19(1):118-122
- 41) Lewis J, Wright C, Green A: Subacromial impingement syndrome: The effect of change posture on shoulder range of movement. J Orthop Sports Phys Ther. 2005;35(2):72-87
- 42) 菊入大輔, 桐生慎哉, 中村康雄ら. 肩甲骨運動測定用体表マーカの上肢挙上による肩甲骨特徴点に対する偏位の in-vivo 計測. 信学技報 MBE 2003;103(81):17-22
- 43) Lewis J, Green A, Reichard Z, et al. Scapular position: the validity of skin surface palpation. Manual Therapy 2002;7(1):26-30
- 44) Levasseur A, Tetreault P, Guise J, et al. The effect of axis alignment on shoulder joint kinematics analysis during arm abduction. Clinical Biomechanics 2007, 22(7), 758-766