スマートフォンのアプリケーションを用いた 肩甲骨アライメントの測定方法

Investigation Method of Scapula Alignment Using a Smartphone Application

白井 孝尚^{1,2)} 井尻 朋人^{1,3)} 鈴木 俊明²⁾

TAKANAO SHIRAI, RPT^{1,2)}, TOMOHITO IJIRI, RPT, MS^{1,3)}, TOSHIAKI SUZUKI, RPT, DMSc²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Kiba Hospital, Medical Corporation, Juzankai: 4-2-8 Iwata-cho, Higashiosaka-shi, Osaka 578-0941, Japan TEL +81 72-961-6888 E-mail: hrk08sn05@yahoo.co.jp

²⁾ Graduate School of Health Sciences, Kansai University of Health Sciences

³⁾ Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University

Rigakuryoho Kagaku 35(3): 361-365, 2020. Submitted Nov. 26, 2019. Accepted Jan. 9, 2020.

ABSTRACT: [Purpose] To determine whether the movement direction and angle of the scapula can be accurately measured by a smartphone application, and whether it can be used for clinical research. [Participants and Methods] Ten healthy men were tasked with upper limb forward elevation and belt-tying movement. Using a three-dimensional movement analysis device and smartphone application (Angle Meter), the scapula anterior tilt and upward rotation angles during each task were measured. [Results] For all subjects, the results calculated by the three-dimensional movement analysis device and the smartphone application were similar. [Conclusion] Using the smartphone application is one of the useful methods for evaluating the alignment of the scapula during upper limb forward elevation and belt-tying movement, and we considered it useful for the evaluation of the shoulder joint.

Key words: application, upper limb forward elevation, belt-tying movement

要旨:〔目的〕スマートフォンのアプリケーションを用いて、妥当性のある肩甲骨の運動方向および運動角度が得られるかを調査した。〔対象と方法〕健康男性10名に上肢前方挙上と結帯動作をさせた。三次元動作解析装置とアプリケーションを用いて、各課題時の肩甲骨の前傾および上方回旋の角度を計測した。〔結果〕全課題において、三次元動作解析装置とアプリケーションで算出された結果には、相関関係を認めた。また、ICC (1,2), (2,2)において、高い判定を認めた。〔結語〕アプリケーションでの測定方法は、上肢前方挙上や結帯動作時の肩甲骨のアライメントを評価できる有用な方法の一つであり、肩関節の評価に役立てられると考える。

キーワード: アプリケーション, 上肢前方挙上, 結帯動作

¹⁾ 医療法人寿山会 法人リハビリテーション部: 大阪府東大阪市岩田町4-2-8 (〒578-0941) TEL 072-961-6888

²⁾ 関西医療大学大学院 保健医療学研究科

³⁾ 広島大学大学院 医系科学研究科

I. はじめに

肩関節の評価を行うにあたり、肩甲上腕関節の運動だけでなく、肩甲胸郭関節に着目されることは多くある。そのため、上肢挙上や結帯動作時の肩甲骨のアライメントを詳細に解析することは大変重要である。

Codman¹⁾によって紹介された「肩甲上腕リズム」とは、上肢挙上運動時の肩甲骨上方回旋に対する肩甲上腕関節の外転角度である。Inman²⁾は上肢挙上と肩甲骨上方回旋の割合は2:1であると報告している。しかし、上肢挙上速度や年齢、負荷量などによって、比率が異なることが証明されてきており³⁻⁵⁾、一概に2:1で動くとは言い切れない。

今まで肩甲上腕リズムに関する研究は多くなされており、X線やゴニオメーター、テープメジャーなど様々な方法で測定されている⁶⁻⁸⁾。また、Johnson⁹⁾やScibek¹⁰⁾は傾斜計を用いた方法で肩甲骨の上方回旋角度や後傾角度を測定している。McClure¹¹⁾は、上肢挙上における肩甲骨の動きはX軸・Y軸・Z軸の3軸で生じることを報告しているため、二次元で測定する彼ら^{9,10)}の方法では、正確に肩甲骨のアライメントをとらえているとは言い難い。測定技術の進歩により2D/3Dレジストレーションや三次元動作解析装置で3軸方向での運動を分析し、上腕骨や肩甲骨の運動を解明しようとする研究もある¹²⁻¹⁴⁾。しかし、2D/3Dレジストレーションは、高性能なコンピュータを使用するため、簡便な方法とは言い難い。また、三次元動作解析装置を使用した研究では、皮膚上にセンサーを設置するため、皮膚下に存在する肩甲骨の運動を正確に評価することが困難である¹⁵⁾。その問題を解決する方法として、宮下ら^{16,17)}はパッドを皮膚上の偏移が少ない肩峰に貼付し、肩甲骨の運動を解析する方法を考案している。その方法を応用して、投球動作時の肩関節や肩甲骨運動の解析を行い、それらの結果に妥当性があることも報告している。この三次元動作解析装置に関しても非常に高価な装置であり、計測や解析に時間を要するため、臨床に応用することが難しい。

近年では、アプリケーションを用いた身体計測に関する研究が増えており、妥当性のある結果も得られている^{18,19)}。しかし、アプリケーションを使用した肩甲骨の角度に関する研究は見当たらない。また、上肢最大挙上時の肩甲骨上方回旋(平均値 ± 標準偏差)は $58.1 \pm 4.3^\circ$ であったことや肩関節外転位での内旋時の肩甲骨前傾は 20° 程度であったと報告とされている^{20,21)}。日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会が制定している肩関節屈曲や外転の参考可動域は 180° であるなか、肩甲骨角度は小さい角度で運動するため、小さな変化を確認することが難しい。そのため、臨床において 5° 刻みで変化を確認するゴニオメーターでの測定方法では、

動作時の肩甲骨角度変化を検出することが困難であることも経験する。

そこで我々は、この問題を解決することを目的に、宮下らの報告を参考にして、スマートフォンのアプリケーションを利用した肩甲骨のアライメントを測定できる方法を考案した。スマートフォンのアプリケーションと三次元動作解析装置で、肩甲骨のアライメントを測定し、妥当性を検討した。スマートフォンのアプリケーションを用いた方法で、妥当性のある肩甲骨のアライメントが検査できれば、肩関節の評価に役立てることを本研究の目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は体幹・上肢に疾患を有しない健常男性10名とし、年齢は 25.1 ± 2.9 歳、身長は 171.2 ± 4.8 cm、体重は 62.0 ± 6.2 kg(平均 ± 標準偏差)であった。なお、対象者には研究の趣旨や測定の方法を十分に説明し、同意を得て行った。また、対象者は、日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会が制定している肩関節の参考可動域角度に類似しており、著明な左右差もなかった。検者は、理学療法士男性2名とし、臨床歴5年6ヵ月と3年6ヵ月である。本研究は医療法人寿山会倫理委員会の承認を得て行った(承認番号:2019001)。

2. 方法

測定課題は、上肢前方挙上と結帯動作とした。上肢前方挙上は単純な課題として、本研究の測定課題に選定した。結帯動作は肩関節の伸展や内旋、外転など一方向だけではない運動であり、上肢前方挙上より複雑な課題として、本研究の測定課題に選定した。上肢前方挙上課題は、端座位で上肢下垂位から肩関節屈曲させ、肩関節 45° 屈曲位および肩関節 90° 屈曲位で保持させる課題とした。結帯動作課題は、端座位で上肢下垂位から背中に手を回し、母指を脊柱に沿わせて上方に移動させ、母指を第5腰椎、第12胸椎、第7胸椎に位置させる課題とした。利き手側は非利き手側と比較して、肩関節伸展・内旋の可動性が少ないと報告されていることから²²⁾、本研究では非利き手側を検査側とした。なお、本研究で計測した全対象者の利き手側は右手であり、全対象者左上肢で計測した。運動課題中の規定について、利き手側は上肢下垂位とし、体幹の屈曲や側屈、回旋などが大きく生じないように前方を注視させた。また、上肢前方挙上課題に関しては、母指を上方に位置させた状態で、肩関節の内転や外転、肘関節屈曲が生じないように注意し、結帯動作課題に関しては、前腕や手関節の運動が大きく生じないように注意した。これらの動作が大きく生じた対象者は、計測データより除外した。

課題時には三次元動作解析装置 UM-CAT（ユニメック社製）とスマートフォンのアプリケーション（シンプル角度計 -simple Angle Meter ver.1.1, NEKO SYSTEM 社製）を使用して、肩甲骨の運動を分析した。三次元動作解析装置のサンプリング周波数は 180 Hz とした。シンプル角度計 -simple Angle Meter は、基準とする地点でリセットボタンをタップし、計測したい場所にデバイスを置くだけで角度変化を 3 軸で測定できるアプリケーションである。iOS 8.0 以降の iPhone や iPad に対応している。本研究では、iPhone7 (iOS 13.3, アップル社製) のデバイスを使用した。肩甲骨の運動解析のために、先行研究^{16,17,23,24)}を参考に、肩峰にパッドを貼付した。

図1 肩峰に貼り付けたT字型パッド

肩甲骨上のマーカー貼付は、肩甲骨下角や烏口突起は皮膚での偏移が大きく、肩峰角は偏移が少なかったと報告されている¹⁵⁾。そのため、肩甲骨の体表上へのマーカー貼付を避け、肩峰にパッドを貼付することを選択した(図1)。パッドが肩峰から外れないように両面テープを用いて貼付した。

パッドは、ウレタン素材のテーピングパッド（ニトムズ社製）を高さ 1 cm, 横 1 cm, 縦 10 cm に裁断し、直線型のパッドを作成した。この直線型パッドを 2 つ作成し、T 字型にパッドを組み合わせた。さらに、3 つの先端に赤外線反射マーカーを貼付した。また、対象の腸骨稜直上にも赤外線反射マーカーを貼付した。先行研究^{19,20)}では、第 10 肋骨角に赤外線反射マーカーを貼付する方法であったが、結帯動作課題では上肢により赤外線反射マーカーが隠れてしまうことが予測されたため、本研究では腸骨稜直上に貼付した。撮影された画像をもとに、三次元動作解析システム（KineAnalyzer, ユニメック社製）を用いて、上肢前方挙上課題と結帯動作課題時の肩甲骨上方回旋角度、肩甲骨前傾角度を算出した。角度の算出は先行研究を参考に行った(図2)^{16,17,23,24)}。

また、スマートフォンのアプリケーションでの分析について、まず計測前には校正を行ったうえで各課題を実施させた。各課題時には肩峰上に貼付された T 字型のパッドに沿うように検査者がスマートフォンを空間上に位置させた。このスマートフォンはジャイロセンサーを搭載したものをを使用した。ジャイロセンサーは「角速度センサー」とも呼ばれ、物体の傾きや回転の変化を検知するセンサーのことである。この機能を活かしたアプリケーションを利用し、矢状面と前額面で検出されたデータを用いた。矢状面上の角度を肩甲骨前傾の角度、前額

図2 三次元動作解析装置を用いた肩甲骨運動角度の計測方法

面上の角度を肩甲骨上方回旋の角度とした。

分析方法は三次元動作解析装置、スマートフォンのアプリケーションどちらとも、肩関節 45° 屈曲位、肩関節 90° 屈曲位、母指位置が第 5 腰椎、第 12 胸椎、第 7 胸椎に位置した時の肩甲骨上方回旋、肩甲骨前傾の値を算出した。その値から上肢下垂時の肩甲骨上方回旋、肩甲骨前傾の値の差を出して変化量を求めた。また、肩甲骨上方回旋角度は正の値、下方回旋角度は負の値とし、肩甲骨前傾角度を負の値、後傾角度を正の値とした。

結果解析に関しては、各課題時における三次元動作解析装置およびスマートフォンのアプリケーションから算出された肩甲骨上方回旋の角度、肩甲骨前傾の角度に相関関係があるのかを調査するため、相関の検定を行った。得られた結果に正規性を認めた場合は Pearson の積率相関で検定し、正規性を認めなかった場合、Spearman の順位相関で検定することとした。また、スマートフォンのアプリケーションを使用した方法の級内相関係数 (intraclass correlation coefficients : 以下, ICC) を調査するため、すべての課題は 2 回ずつ行わせて、その得られた結果の平均値を用いた。また、スマートフォンのアプリケーションを用いた角度測定を十分に練習した 2 名に、課題時の肩甲骨運動角度の測定を行わせた。その得られた結果から、ICC (1,2) と ICC (2,2) にて分析した。有意水準は 5% とした。

III. 結 果

今回、すべての課題から得られた結果は正規性を認めたことを確認したため、Pearson の積率相関を用いて相関の検定を行った。肩関節 45° 屈曲位における肩甲骨上方回旋は $r=0.93$ ($p<0.01$)、肩甲骨前傾は $r=0.76$ ($p<0.01$) であった。肩関節 90° 屈曲位における肩甲骨上方回旋は $r=0.94$ ($p<0.01$)、肩甲骨前傾は $r=0.73$ ($p<0.05$) であった。母指が第 5 腰椎時における肩甲骨上方回旋は $r=0.94$ ($p<0.01$)、肩甲骨前傾は $r=0.88$ ($p<0.01$) であった。母指が第 12 胸椎時における肩甲骨上方回旋は $r=0.91$ ($p<0.01$)、肩甲骨前傾は $r=0.72$ ($p<0.05$) であった。母指が第 7 胸椎時における肩甲骨上方回旋は $r=0.88$ ($p<0.01$)、肩甲骨前傾は $r=0.88$ ($p<0.01$) であった。すべての課題において、三次元動作解析装置とスマートフォンのアプリケーションから算出された結果に有意な正の相関を認めた。スマートフォンのアプリケーションで得られた角度結果について、表 1 に示す。また、スマートフォンのアプリケーションを使用した肩甲骨運動測定方法から得られた ICC の結果を表 2 に示す。本研究では、ICC (1,1)、ICC (2,1) では低い判定を認める課題があったため、ICC (1,2)、ICC (2,2) で分析した。すべての課題において、ICC (1,2)、ICC (2,2) とともに高い信頼性の結果が得られた。

表 1 上肢前方挙上と結帯動作時の肩甲骨運動角度

	肩甲骨上方回旋	肩甲骨前傾
肩関節 45° 屈曲位 (°)	15.1 ± 8.3	10.2 ± 6.3
肩関節 90° 屈曲位 (°)	28.0 ± 10.1	11.6 ± 5.0
結帯 L5 (°)	2.3 ± 5.8	-8.2 ± 3.7
結帯 Th12 (°)	2.5 ± 6.4	-10.1 ± 4.4
結帯 Th7 (°)	3.8 ± 6.4	-15.8 ± 6.4

n = 10. 平均値 ± 標準偏差。

表 2 肩甲骨運動測定の ICC (1,2), ICC (2,2)

	肩甲骨上方回旋	肩甲骨前傾
ICC (1,2)		
肩関節 45° 屈曲位	0.86	0.64
肩関節 90° 屈曲位	0.93	0.81
結帯 L5	0.72	0.61
結帯 Th12	0.92	0.79
結帯 Th7	0.87	0.71
ICC (2,2)		
肩関節 45° 屈曲位	0.98	0.72
肩関節 90° 屈曲位	0.99	0.86
結帯 L5	0.95	0.97
結帯 Th12	0.94	0.95
結帯 Th7	0.88	0.90

n = 10. ICC : intraclass correlation coefficients.

IV. 考 察

肩峰は皮膚でのズレもほとんどなく、肩峰にパッドを貼付して行った研究で、肩甲骨前傾角度や上方回旋角度において、妥当性のある結果が認められている。本研究において、スマートフォンのアプリケーションを使用した肩甲骨運動の測定方法は、三次元動作解析装置で肩甲骨運動を測定した結果と相関関係を認めた。つまり、今回の方法で肩甲骨運動を測定できると考える。また、本研究では ICC も同時に調査した。Landis ら²⁵⁾は ICC について、ICC の値が 0.61~0.80 であれば Substantial (十分)、0.81~1.00 であれば Almost perfect (完璧)であると述べている。つまり、検者内信頼性、検者間信頼性も良い判定を認めており、再現性の高い測定方法といえる。さらに、今回の方法は、現代社会では欠かせないスマートフォンを利用した方法である。三次元動作解析装置や 2D/3D レジストレーションなど、特別な機器はどこの施設にでもあるわけではなく、計測方法も決して簡便とはいえない。しかし、スマートフォンのアプリケーションを使用した肩甲骨運動測定方法は、肩峰に貼り付けたパッドにスマートフォンを沿わせてデータを算出する方法のため、非常に簡便な方法で計測および解析ができる。また、肩峰にパッドを貼り付けるだけで可能

なため、裸体にならなくても測定でき、女性に対しても行いやすく、今後、臨床や研究などにも幅広く応用することができると考える。

本研究の限界として、対象者数が少なかった点、対象者が若年者だけであった点、女性の対象者を設定していない点が挙げられる。肩峰にパッドを設置させる方法では、肩関節屈曲90°より角度は増えると、パッドが上腕に衝突することもあり、正確に肩甲骨運動を測定できない可能性が考えられた。そのため、肩関節屈曲90°より角度が増大した場合の肩甲骨運動が正確に計測できるかは現状不明である。さらに、本研究は静止時の測定であり、動作時の肩甲骨運動は測定できない方法である。また、鎖骨や体幹の動きが肩甲骨運動に含まれており、厳密には肩甲骨のみの運動解析ではないことが挙げられる。

利益相反 本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

引用文献

- 1) Codman EA: The shoulder. Thomas Todd, Boston, 1934, pp32-64.
- 2) Inman VT, Saunders JB, Abbott LC: Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg Am*, 1944, 26: 1-30.
- 3) Sugamoto K, Harada T, Machida A, et al.: Scapulohumeral rhythm: relationship between motion velocity and rhythm. *Clin Orthop Relat Res*, 2002, (401): 119-124.
- 4) Dayanidhi S, Orlin M, Kozin S, et al.: Scapular kinematics during humeral elevation in adults and children. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2005, 20: 600-606.
- 5) McQuade KJ, Dawson J, Smidt GL: Scapulothoracic muscle fatigue associated with alterations in scapulohumeral rhythm kinematics during maximum resistive shoulder elevation. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1998, 28: 74-80.
- 6) Doody SG, Freedman L, Waterland JC: Shoulder movements during abduction in the scapular plane. *Arch Phys Med Rehabil*, 1970, 51: 595-604.
- 7) Borsa PA, Timmons MK, Sauers EL: Scapular-positioning patterns during humeral elevation in unimpaired shoulders. *J Athl Train*, 2003, 38: 12-17.
- 8) 三浦雄一郎, 森原 徹, 福島秀晃・他: 肩関節屈曲と外転における鎖骨・肩甲骨の運動一座標移動分析を用いた検討. *総合リハビリテーション*, 2008, 36: 877-884.
- 9) Johnson MP, McClure PW, Karduna AR: New method to assess scapular upward rotation in subjects with shoulder pathology. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2001, 31: 81-89.
- 10) Scibek JS, Carcia CR: Validation of a new method for assessing scapular anterior-posterior tilt. *Int J Sports Phys Ther*, 2014, 9: 644-656.
- 11) 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.
- 12) Tsai NT, McClure PW, Karduna AR: Effects of muscle fatigue on 3-dimensional scapular kinematics. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84: 1000-1005.
- 13) 田中 聡, 大坪奈美子, 中村康雄・他: モーションキャプチャ・システムを用いた上肢運動測定のための最適なマーカ貼付法. *電子情報通信学会技術研究報告. MBE, MEとバイオサイバネティクス*, 2003, 103: 13-18.
- 14) 高橋裕司, 西中直也, 松久孝行・他: X線透視画像および三次元コンピュータモデルを用いた肩関節肩甲骨面外転における肩甲上腕関節の生体内回旋動態解析. *理学療法学*, 2019, 46: 15-20.
- 15) 中村康雄, 林 豊彦, 中村真里・他: 体表マーカの偏位と肩甲骨運動のin-vivo計測. *バイオメカニズム*, 2004, 17: 111-121.
- 16) Miyashita K, Kobayashi H, Koshida S, et al.: Glenohumeral, scapular, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation in throwing. *Am J Sports Med*, 2010, 38: 363-368.
- 17) 宮下浩二, 小山太郎, 太田憲一郎・他: 投球動作の後期コッキング期から加速期における肩甲骨の三次元運動解析. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 2017, 25: 374-382.
- 18) 小野田公, 霍 明: モバイル端末での位置覚測定アプリケーションの信頼性と妥当性の検討. *理学療法科学*, 2016, 31: 701-704.
- 19) 牧川方昭: 加速度センサを用いた日常身体活動のモニタリング. *生体医工学*, 2016, 54: 96-103.
- 20) 福島秀晃, 三浦雄一郎: 肩甲上腕リズムの臨床応用を考える. *関西理学療法*, 2013, 13: 23-32.
- 21) Koishi H, Goto A, Tanaka M, et al.: In vivo three-dimensional motion analysis of the shoulder joint during internal and external rotation. *Int Orthop*, 2011, 35: 1503-1509.
- 22) 古後晴基, 村田 伸, 村田 潤・他: 高齢者における中指一中指間距離と利き手および肩こりとの関係. *Jpn J Health Promot Phys Ther*, 2013, 3: 71-75.
- 23) 井尻朋人, 宮下浩二, 浦辺幸夫・他: 体幹アライメントが投球時の肩関節運動に与える影響. *体力科学*, 2009, 58: 73-80.
- 24) 上田泰之, 浦辺幸夫, 山中悠紀・他: 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. *理学療法科学*, 2009, 24: 323-328.
- 25) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977, 33: 159-174.