

# 深度センサを用いた Scapular dyskinesis 検出手法の確立

東京医科歯科大学大学院 井原 拓哉  
(共同研究者) 日本電気株式会社 安川 洵  
かわしまクリニック 辛嶋 良介  
東京医科歯科大学大学院 藤田 浩二

## Establishment of Scapular Dyskinesis Detection Method Using a Depth Sensor

by

Takuya Ibara, Koji Fujita  
*Department of Functional Joint Anatomy,  
Graduate School of Medical and Dental Sciences,  
Tokyo Medical and Dental University*  
Makoto Yasukawa  
*Biometrics Research Laboratory, NEC Corporation*  
Ryosuke Karashima  
*Department of Rehabilitation, Kawashima Clinic*

### ABSTRACT

Quantification of scapular motion in patients with shoulder disorders is important, but there are no existing tools that allow simple quantification in clinical setting. Recently, depth sensors have attracted much attention in terms of accuracy and price. Therefore, this study was conducted to investigate the reliability of scapula angle measurement using depth sensors as a preliminary study to quantify scapula motion using depth sensors. The angles of superior and inferior rotation, internal and external rotation, and anterior and posterior tilt between two trials were calculated from point cloud

using depth sensor data, and the intraclass correlation coefficients and the standard error (SEM) were examined in healthy adult male subjects. The results showed that the correlation coefficients were good for both anterior elevation and scapular plane elevation. The SEM was less than 10 degrees for both tasks except for superior and inferior rotation. Based on the results of this study, quantification of scapular motion using the depth sensor was considered to be good from the standpoint of reliability, but improvement of accuracy and examination of validity need to be examined.

#### キーワード

肩甲骨, 肩関節, 運動機能障害, 深度センサ, 信頼性

#### Keyword

Scapular, Shoulder, Scapula dyskinesia, Depth sensor, Reliability

## 要 旨

肩関節障害を有する患者の肩甲骨運動の定量化は重要であるが、臨床現場で簡易的に定量化できるツールは現存しない。近年、深度センサは精度および価格の面から注目を集めている。そこで、本研究は、深度センサを用いた肩甲骨運動の定量化を図る予備的研究として、深度センサを用いた肩甲骨角度計測の信頼性の検討を目的に実施した。健康成人男性を対象に前方挙上および肩甲骨面挙上中の身体背面を深度センサで撮影し、深度センサの情報を用いて作成した点群データから二試行間の上・下方回旋、内・外旋、前・後傾の角度を算出し、相関係数及び標準誤差の検討を行った。結果、相関係数は、前方挙上・肩甲骨面挙上ともに良好な値を示した。また標準誤差は上・下方回旋角度を除いて両課題とも10度未満であった。本研究の結果より、深度センサを用いた肩甲骨運動の定量化は、信頼性の観点からは良好と思われたが、精度向上と妥当性の検討が必要であった。

## 緒 言

投球障害肩を中心とするアスリートの肩関節障害では、肩甲骨の運動への注目度は高く、肩甲骨運動の異常 (*Scapular dyskinesia*) がインピンジメント症候群などの障害を惹起することが知られている<sup>1,2)</sup>。このような肩甲骨運動の異常に伴う肩関節障害の治療には、初期症状として現れる僅かな運動の異常を検出し、正しく評価することが重要であるとされている<sup>3)</sup>。臨床現場では経験豊富な医師やセラピストが視診や触診で評価を行っており、多くの場合、定量評価は行われていない。X線動態撮影<sup>4)</sup> や *Dynamic MRI* を用いる方法<sup>5)</sup>、皮膚上に貼付した磁気式センサを用いる方法<sup>6)</sup> などとも存在するが、高価で特殊な設備が必要であること、侵襲を伴うことなどから一般的な臨床現場への導入は容易でなく、普及していないのが現状である。従って、現場への導入が容易な機器を用いて、非侵襲的かつ高精度に肩甲骨運動を定量化することが、肩関節障害の治療・予防に必要不可欠である。そこで、本研究では近年、安価に入手でき、精度も大幅に向上した深度センサに着目した。深度センサを利用した運動計測は、非侵襲的

である利点もあり研究が盛んである。近年の報告でも、深度情報を利用して肩甲骨の三次元的な姿勢および運動を評価できる可能性が指摘されている<sup>7)</sup>。そこで我々は、深度センサを利用した肩甲骨運動の異常検知技術を確立することで、臨床現場における肩関節障害の治療および予防の発展に貢献することを目的に実施した。本研究では、深度センサを用いた肩甲骨運動の異常検知のための予備的研究として、深度センサを利用した肩甲骨角度算出の信頼性の検討を行った。

## 1. 方法

### 1.1 対象

対象は、肩関節に愁訴のない健常成人男性9名18肩であった。全対象者において、肩関節に愁訴および既往がないことを確認した。また研究実施に先立ち、本学の研究倫理委員会（承認番号：M2021-295）の承認を得たうえで、各被験者に十分に研究内容を説明し、書面にて同意を得たうえ

で行った。

### 1.2 課題動作

課題動作は、肩関節の前方挙上（矢状面方向への挙上：図1a）と肩甲骨面挙上（前額面より30度前方位置での挙上：図1b）とした。

### 1.3 計測

計測にはAzure Kinect DK（Microsoft社製）を用いた。被験者は上衣を脱いだ状態で、高さ40cmの椅子に座り、被験者の後方90cm、高さ100cmの位置に三脚を用いてAzure Kinect DKを設置した。Azure Kinect DKのカラーカメラは解像度3840 × 2160 pixel、深度カメラは解像度640 × 576pixelに設定した。計測周波数は30Hzに設定した。

被験者には、最大の前方挙上および肩甲骨面挙上（前額面から前方へ30°の位置での挙上）を行った状態を保持した後、上肢を下垂し、完全に上

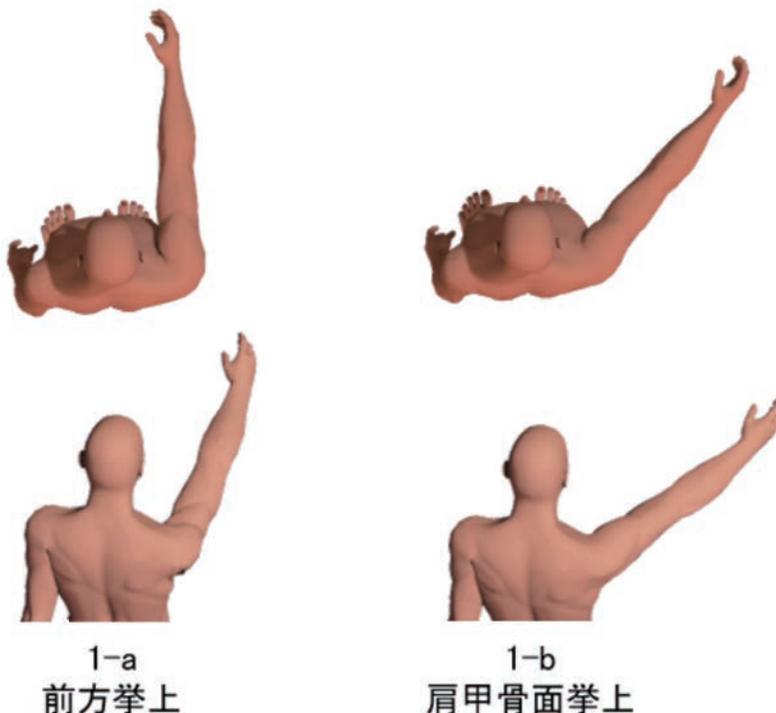


図1 課題動作

肢を下垂した安静座位を保持するよう指示した。各挙上位はそれぞれ2回ずつ実施した。課題動作試行中，身体背面の色および深度情報を，Azure Kinect DKのカラーカメラ及び深度カメラで撮影した。

#### 1. 4 解 析

解析では，まずカラー画像から上肢挙上中の3frameを特定し，Azure Kinect DKにて取得した

色と深度情報を用いて身体背面の色付き点群を作成した(図2)。

次にAzure Kinect DKのBody Tracking機能を用いて身体各評点座標を推定した(図3)。

Body Tracking機能を用いて算出したNeck, Chest, 左右のShoulder座標によって囲まれる区間に肩甲骨が含まれるため，元の色付き点群データからこれらの座標情報を用いて，肩甲骨を含む領域を抽出した。抽出した領域の点群に対

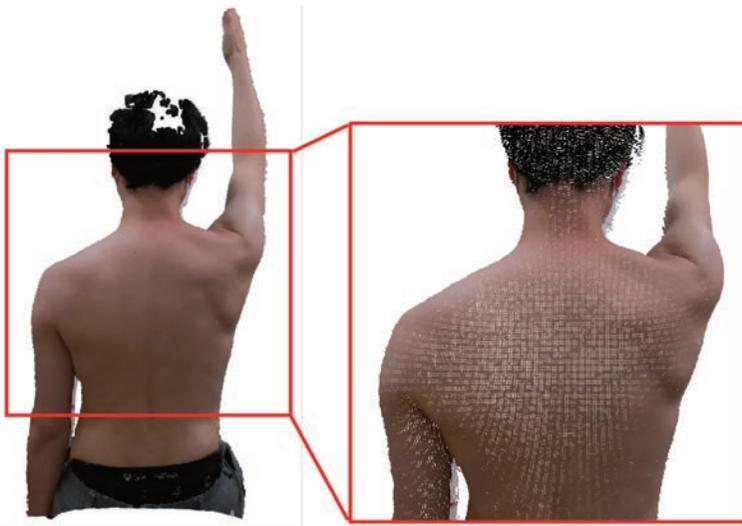


図2 身体背面の色付き点群の例

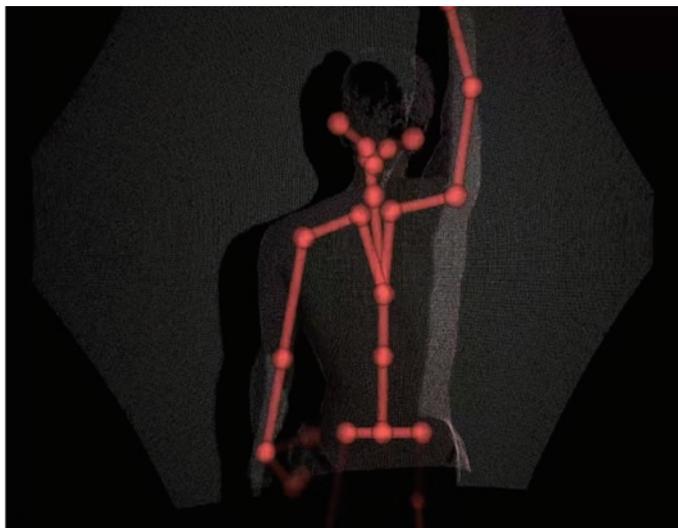


図3 Azure Kinect DKのBody Tracking機能を用いて推定した身体背面からの各標点の例

し voxel down sampling を行ったのち、Neck から Chest を結ぶベクトル (第1軸) を Y 軸正方向, 該当の Shoulder から Neck を結ぶベクトルと第1軸 がなす平面に垂直な直線がなすベクトル (第2軸) を Z 軸正方向, および第1軸, 第2軸両方に垂直なベクトルを X 軸正方向として点群を回転したのち, 原点を Neck に水平移動した。さらに, 肩甲棘および肩甲骨内側縁を含むと思われる点群を, 皮膚表面の傾きを参考に抽出し (図4), それらを用いて肩甲の向きに一致すると思われる平面を推定した。最後に, 推定した平面が XY 平面, YZ 平面, ZX 平面と成す接線の方程式を計算し, 各平面における接線の傾きを上方・下方回旋, 前・後傾, 内・外旋角度として算出した。

### 1. 5 統計的検討

信頼性の指標として, 各肢位 (前方挙上, 肩甲骨面挙上位) における2試行間の角度の相関係数を求めた。さらに, 2試行間の標準誤差 (SEM) および級内相関係数 (ICC (1, 2)) を算出した。

有意水準は5%とした。解析にはPython3.8を用いた。

## 2. 結果

前方挙上においては, Azure Kinect DK の Body Tracking が不良であった2名2肩を除いた16肩で, 相関係数は, 上・下方回旋角度:0.58 ( $p=0.02$ ), 前・後傾斜角度:0.68 ( $p<0.01$ ), 内・外旋角度:0.61 ( $p=0.01$ ) であった (図5)。SEM は上・下方回旋角度:11.5°, 前・後傾斜角度:4.5°, 内・外旋角度:4.5° であった。ICC は上・下方回旋角度:0.74, 前・後傾斜角度:0.82, 内・外旋角度:0.75 であった。

肩甲骨面挙上においては, Azure Kinect DK の Body Tracking が不良であった2名2肩を除いた16肩で, 相関係数は, 上・下方回旋角度:0.73 ( $p<0.01$ ), 前・後傾斜角度:0.71 ( $p<0.01$ ), 内・外旋角度:0.54 ( $p=0.03$ ) であった (図6)。SEM は上・下方回旋角度:23.0°, 前・後傾斜角度:5.5°, 内・外旋角度:7.8° であった。ICC は上・下方回旋角度:0.85, 前・後傾斜角度:0.83, 内・外旋



図4 身体背面の深度情報から推定された肩甲棘(青点)および肩甲骨内側縁(緑点)と内側縁に近似した空間上の直線(赤線)

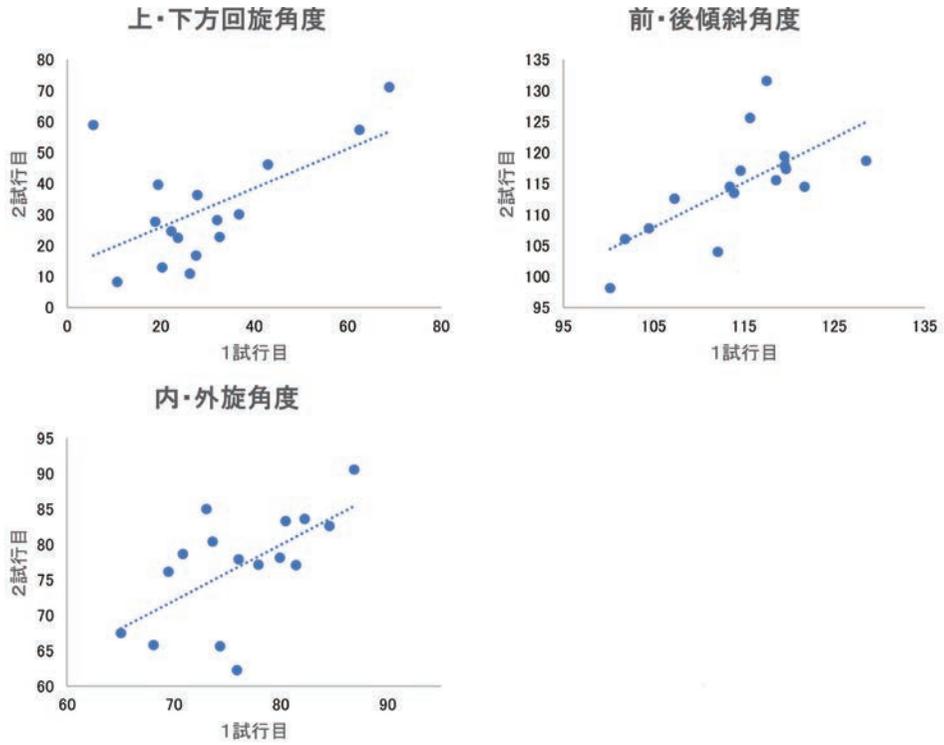


図5 前方挙上における各角度の2試行のプロット

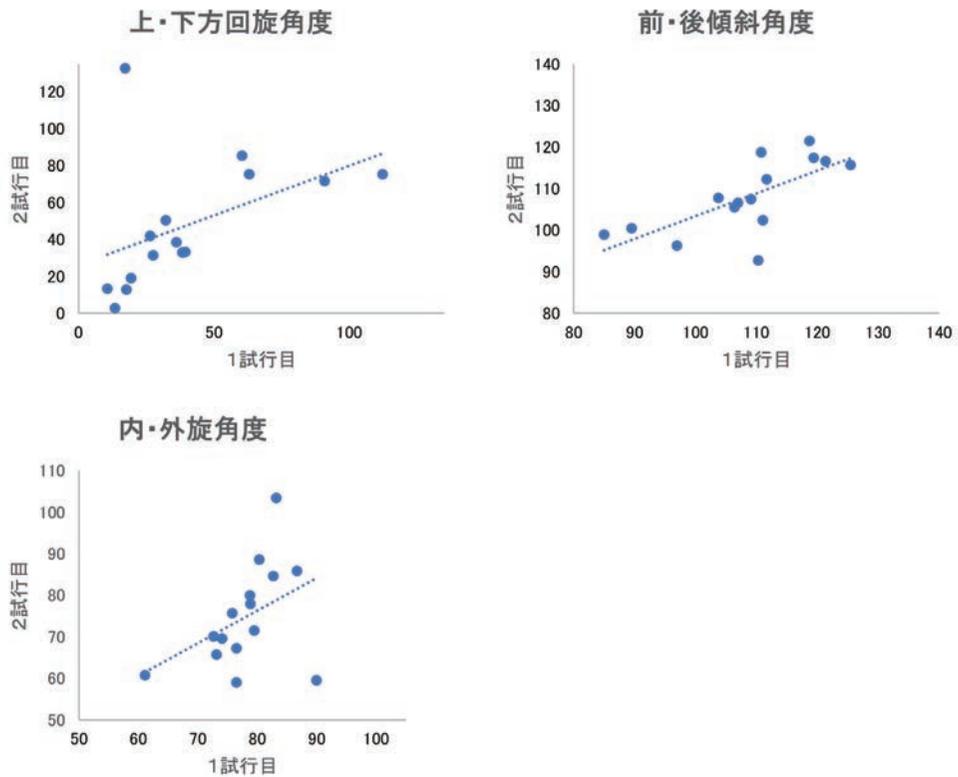


図6 肩甲骨面挙上における各角度の2試行のプロット

角度：0.63であった。

### 3. 考 察

本研究は深度センサを用いて、安価で侵襲のない簡便な肩甲骨運動の計測方法の確立を目指した予備的検討として、深度センサを用いて算出される角度の信頼性を検討した。

本研究の結果、前方挙上・肩甲骨面挙上ともに0.5～0.7程度の有意な相関を認め、測定信頼性があると考えられた。先行研究<sup>7)</sup>では、身体表面の隆起を利用した肩甲骨下角の位置の推定可能性に言及していたが、これは安静立位を基準としたものであり、挙上時には特に僧帽筋・広背筋と思われる筋収縮に伴う隆起の増強により肩甲骨下角の位置推定は困難であった。そこで本研究では、肩甲骨の内側縁や肩甲棘に着目した。位置の同定に関して、肩甲骨内側縁も前述の筋の膨隆の影響を受けるが、肩甲骨下角より広い幅を持つため同定しやすく、肩甲棘は、直上に筋の付着が存在しないため、筋の膨隆の影響を受けにくいことが測定信頼性向上につながったものと考ええる。

一方、SEMは上・下方回旋角度を除いて両肢位とも10度未満であった。上・下方回旋角度のSEMは前方挙上で約11°、肩甲骨面挙上で約23°であった。慣性センサを用いた肩甲骨角度の信頼性に関する報告<sup>8)</sup>では、可動範囲ではあるが検者内信頼性は挙上120°で上・下方回旋角度：0.88、前・後傾斜角度：0.67、内・外旋角度：0.80と高値を示し、SEMはいずれも5度程度を示していた。この研究と比較すると、本研究におけるSEMの値は特に内・外旋角度および前・後傾斜角度に関しては良好であった。その理由として、慣性センサを用いた計測では、重力加速度を用いて角度計算が成されるため、重力加速度方向にセンサの軸が重複し、変化が少ない動きに関しては鋭敏でない可能性がある。一方、深度センサを用いた本手法は、身体後面から深度を用いて計測しているた

め、慣性センサの不得手な部分に関してはむしろ強みになっていたと考えられた。上・下方回旋角度に関しては、精度が下がる傾向が認められた。その理由として本研究では数学的に肩甲棘や肩甲骨内側縁を同定し、それを基に角度を算出する手法を取ったが、この手法が精度を下げている要因と思われた。結果のプロット(図5,6)を見ると、数値的に妥当な範囲に一塊となった点群を認めるが、両挙上方向に関して逸脱した点も認め、計測の妥当性・精度の観点からは、まだ改善の余地があると思われた。深度センサが取得している情報量の豊富さを鑑みると、近年隆盛を極めていく機械学習などの手法を解析に取り入れることで、飛躍的に精度が上昇する可能性がある。深度センサの利用には、慣性センサと比較して、センサの皮膚ずれの影響を受けにくいことが強みとして考えられ、データ取得後の解析手法を改善していくことで、より高精度に肩甲骨角度を取得できるものと考えられた。

今後さらに研究を進め、より高精度な肩甲骨角度の推定及び運動中の角度変化の追跡、妥当性の検証を行い、臨床現場での実用に足る肩甲骨角度の提示手法の確立を図っていく必要がある。

### 4. 結 論

深度センサを用いた肩甲骨運動の定量化は、信頼性の観点からは十分活用できる可能性があるが、精度の点にはまだ改善の余地が残る。今後、機械学習などの手法も含めた精度の向上と、妥当性の検証を実施していく必要がある。

### 謝 辞

本研究の実施に当たり助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。解析にご助力いただいた山梨大学の牧野浩二先生に深く感謝申し上げます。また、被験者としてご協力いただいた皆様に

も合わせて感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) Chopp-Hurley J.N., O'Neill J.M., McDonald A.C., et al. Fatigue-induced glenohumeral and scapulothoracic kinematic variability: Implications for subacromial space reduction. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, **29**:55-63 (2016)
- 2) Noguchi M., Chopp J.N., Borgs S.P., et al. Scapular orientation following repetitive prone rowing: implications for potential subacromial impingement mechanisms. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, **23**:1356-61 (2013)
- 3) Kibler W.B., Ludewig P.M., McClure P.W., et al. Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit'. *British journal of sports medicine*, **47**:877-85 (2013)
- 4) Sakuda K., Sanada S., Tanaka R., et al. Functional shoulder radiography with use of a dynamic flat panel detector. *Radiol. Phys. Technol.*, **7**:254-61 (2014)
- 5) Garetier M., Borotikar B., Makki K., et al. Dynamic MRI for articulating joint evaluation on 1.5 T and 3.0 T scanners: setup, protocols, and real-time sequences. *Insights Imaging*, **11**:66 (2020)
- 6) Overbeek C.L., Geurkink T.H., de Groot F.A., et al. Shoulder movement complexity in the aging shoulder: A cross-sectional analysis and reliability assessment. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society*, **39**:2217-25 (2021)
- 7) Bonnet V., Yamaguchi T., Dupeyron A., et al. Automatic estimate of back anatomical landmarks and 3D spine curve from a Kinect sensor. 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (*BioRob*), 924-9 (2016)
- 8) van den Noort J.C., Wiertsema S.H., Hekman K.M.C., et al. Reliability and precision of 3D wireless measurement of scapular kinematics. *Medical & biological engineering & computing*, **52**:921-31 (2014)