

令和元年6月14日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01680

研究課題名(和文) 体表面形状計測による肩甲骨を含む肩関節運動の測定精度改善と体幹運動の測定法の開発

研究課題名(英文) Development of measuring method for scapula and trunk motion using the skin surface mapping

研究代表者

中村 康雄 (Nakamura, Yasuo)

同志社大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：00323957

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：肩甲骨運動の測定方法は、皮膚の動揺による誤差が原因となり、その標準的な測定方法は未だ確立されていない。本申請では、肩峰マーカークラスタ法に、サーフェスマップ法を組み合わせた新たな推定方法を開発することで、従来の肩峰マーカークラスタ法よりも、肩甲骨姿勢の推定精度を向上できることを明らかにした。また、日常生活動作を想定したさまざまな上肢の姿勢を計測することで、提案する方法と、従来から報告されている推定方法のメリットとデメリットを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常生活動作やスポーツ動作を評価するには、肩甲骨を含む上肢の動作解析が必要となる。しかし肩甲骨は、体表下を滑動する。そのため、肩甲骨姿勢を体表上から計測することは、困難である。従来から肩甲骨姿勢を評価するため、さまざまな推定方法が提案されてきた。本申請で開発した推定方法と、従来から報告されている推定方法を比較することで、それぞれの方法の一長一短を明確にした。一つの推定方法で、全ての姿勢に対して推定精度を最良とすることは困難であり、測定対象とする動作に応じて適切な推定方法を選択することが必要であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The standard measurement technique of scapular posture has not been yet established due to the error of the skin motion artifact. Therefore, the purpose of this study was to improve the new method of the measuring a scapular posture noninvasively, by combining the acromion marker cluster (AMC) method with the surface map method. The new method had smaller root mean square error than the conventional AMC method. Also, we determined the merit and demerit of the new method and previous reported methods.

研究分野：スポーツ・バイオメカニクス

キーワード：肩甲骨 モーションキャプチャ サーフェスマップ 肩峰マーカークラスタ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日常生活動作や上肢を主体とするスポーツ動作を評価する場合、肩甲骨を含む上体運動の計測が必要となる。しかし、肩甲骨は体表下にて胸郭上を滑走運動するため、皮膚の動揺による誤差（以下、SME: Skin Motion Error）が要因となり、体表面から肩甲骨の骨特徴点を無侵襲に計測することは困難である。そのため多くの身体動作解析では、肩甲骨を省略した上体の解析モデルが採用されている。例として、アーチェリーでは、弓を引く動作において、肩甲骨を含めた上腕と体幹の位置決めが重要となる。肩甲骨を含まない解析モデルを用いても、その動作を十分には評価できない。したがって、肩甲骨を含む上体の運動計測は、解決すべき重要な課題である。

肩甲骨運動の無侵襲測定は、1998年に McQuade らにより、肩甲骨の外側上部に位置する肩峰上の体表に磁気センサを貼付し、センサの姿勢から肩甲骨の姿勢を間接的に推定する肩峰法（Acromial method）が提案された[1]。その後、肩峰法は、光学式モーションキャプチャ・システムを用いる方法に改良された[2]。磁気センサの代用として、肩峰上の皮膚面に乗せられる小型のベース上に複数の反射マーカ（3個以上）を配置したマーカクラスタが利用された。この方法は、肩峰マーカクラスタ法（Acromion marker cluster）と呼ばれ、広く利用されている（以下、AMC法）。しかしAMC法は、SMEが要因となり挙上角が120°以上になると誤差が大きくなると報告されている[3]。これを改善するため、いくつかの補正方法が提案された[4]。

次に、SMEの影響を軽減するためAMCを利用しないで、肩甲骨の姿勢を推定する方法が提案された。2017年に Nicholson らは、胸郭上腕関節の姿勢と肩峰マーカの位置を入力変数とした線形回帰式を作成し、その出力変数として肩甲骨姿勢を推定する方法を提案した（以下、回帰法）[5]。さらに Nicholson らは、上記の手法をニューラルネットによる機械学習に変更した[6]。これらの方法は、上腕の姿勢から肩甲骨の姿勢を推定するため、測定対象とする任意の姿勢において肩甲骨の姿勢を計測しないという問題がある。

さらに、別のアプローチとして、肩甲骨周辺の体表面に大量のマーカを貼付することで体表面形状を計測し、その形状変化から肩甲骨運動を推定する方法が、2012年に Mattson らによって提案された（以下、サーフェスマップ法）[7]。相見らは、サーフェスマップ法を用いてアーチェリーのシューティング動作における肩甲骨姿勢を評価した[8]。しかしアーチェリー選手は、肩周辺の筋が発達し、加えて個人差が大きいいため、肩関節周辺の軟部組織の変形による測定誤差が課題として残った。畑田らは、サーフェスマップ法にニューラルネットワークを応用することで肩甲骨姿勢を推定し、X線撮影を用いて肩甲骨姿勢の推定精度を評価した[9]。しかし、サーフェスマップ法を用いた肩甲骨姿勢の推定法は、未だ、さまざまな上腕姿勢におけるその推定精度が評価されていない。そこで本申請は、サーフェスマップ法を用いた肩甲骨運動の推定精度を向上し、肩甲骨を含む身体動作を計測することとした。

2. 研究の目的

肩甲骨と体幹を含む上体の運動計測は非常に重要である。そこで申請時において、肩甲骨運動の無侵襲計測法の推定精度を向上するためにサーフェスマップ法を改良することと、この手法を拡張し肩甲骨と脊椎を含む上体の動作を無侵襲計測することを当初の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 肩甲骨姿勢の推定方法

マーカ位置の設定

本研究では、相見らのサーフェスマップ法[8]の精度向上を目的とした。サーフェスマップ法は、体表面形状と肩甲骨の骨特徴点を重ね合わせることで肩甲骨姿勢を推定する。しかし、従来の方法は、背側体表面に100個(10行10列)の反射マーカを貼付する必要があった。また、肩甲骨姿勢の推定に利用する肩甲骨骨特徴点の初期値は、総当たりで探索的に決定していた[8]。そのため、測定の準備と解析に時間がかかることも解決すべき問題であった。これらを解決するために、本申請では、背側体表面に貼付する反射マーカ（以下、マーカ）を49個(7行7列)まで減少し、AMC法を併用することで肩甲骨の姿勢を測定することとした。

対象者の体幹には、剣状突起（XP）、第8胸椎棘突起（TH8）、第7頸椎棘突起（C7）と頸切痕（STN）にマーカを貼付する。右上腕には、上腕骨内側上顆（MEL）と上腕骨外側上顆（LEL）にマーカを貼付する。これらのマーカは、直径12mmとした。AMC法を併用するため、自作したAMCを肩峰上の平らな体表面に貼付する（図1右）。AMCは直径4mmのマーカを三角形に配置し、その重さは約0.4gであった。肩鎖関節（ACJ）にも4mmマーカを貼付する。

次に、体表面形状を計測するため、肩甲骨周辺の体表面上に、複数の反射マーカを格子状に貼付する。反射マーカの直径は4mm、格子の間隔は30mmとし、7行7列の格子とする。各格子の中心点を算出し、これらのマーカ群を体表面マーカ群とする（図1左）。

推定した肩甲骨姿勢の精度を評価する基準値として、あらかじめ肩甲骨の骨特徴点位置を Scapular locator（以下、SL）を用いて決定する。SLは、3つのピンの先端を肩峰後角（AA）、棘三角（TS）、下角（AI）にそれぞれ接触させることで肩甲骨の特徴点位置を測定できる（図2）。各ピンの頭には4mmのマーカを貼付してある。これらの上肢のマーカ位置から、Wuらの報告を参考に、体幹座標系 Σ_T と上腕骨座標系 Σ_H 、肩甲骨座標系 Σ_S を定義する（図3）[10]。

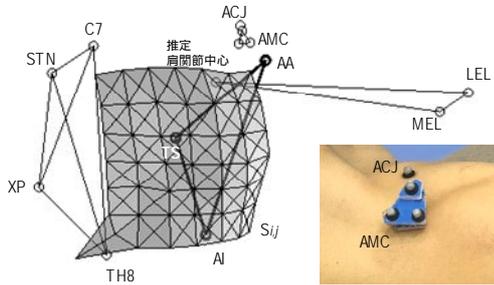


図1 AMCと体表面形状モデル

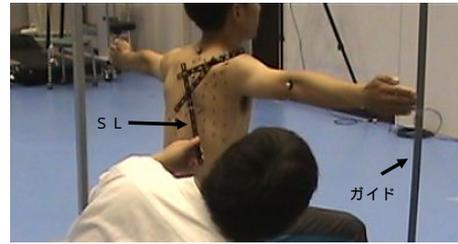


図2 SLを用いた肩甲骨姿勢の計測

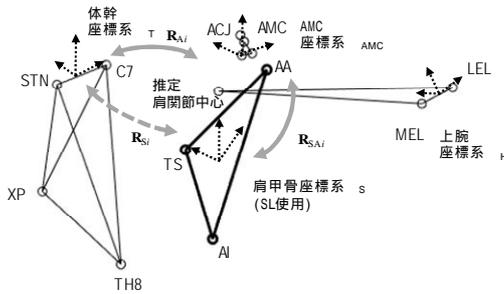


図3 座標系の設定

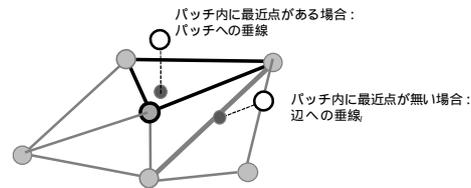


図4 最近点の算出方法

AMCを用いた骨特徴点の初期位置決定

任意の姿勢 i における, Σ_S から Σ_T への座標変換 R_{Si} は AMC を用いて以下の式となる.

$$R_{Si} = R_{Ai} R_{SAi} \quad (1)$$

ここで, R_{Ai} は Σ_{AMC} から Σ_T への座標変換, R_{SAi} は Σ_S から Σ_{AMC} への座標変換とする. 従来の AMC 法は, R_{SA0} を決定するため, キャリブレーション姿勢として上肢下垂位 ($i=0$) の肩甲骨の骨特徴点と AMC を事前に測定する[4]. 以後, AMC を計測することで式(1)から肩甲骨姿勢を決定できる. これを従来型の AMC 法とする.

しかし, 挙上角が 120° 以上になると誤差が大きくなる. そこで本申請では, この誤差を軽減するため, 複数のキャリブレーション姿勢から平均値を算出し, R_{SA0} の代わりに R_{SA}' を決定する. 式(2)から, AMC を計測することで, サーフェスマップ法で利用する肩甲骨の初期姿勢 R_{Si}' を算出できる.

$$R_{Si}' = R_{Ai} R_{SA}' \quad (2)$$

次に, 初期値となる肩甲骨棘三角(TS)と下角(AI), それらの中点(MID)の位置は, Σ_T に関して式(3)から算出できる. これらの骨特徴点位置を肩甲骨テンプレート P_{Til} と呼ぶ.

$$P_{Til} = R_{Ai} R_{SA}' P_{Siil} + P_{Mi} \quad (3)$$

ただし P_{Siil} は Σ_{Si} に関する肩甲骨特徴点位置, P_{Mi} は Σ_T に関する AMC の重心位置とする ($i=1,2,3$).

R_{SA}' を決定するために必要となる複数のキャリブレーション姿勢は, 任意に決定できる. 本研究では, 先行研究と比較するため, 回帰法で利用された姿勢群を参考とする. そのため, キャリブレーション姿勢は, 上肢下垂位, 外転位, 外旋位, 伸展位, 屈曲位, 挙上面 30° での挙上 30° 位, 触口位, 結髪位, 前方リーチ位, 結帯位の 10 姿勢とする[7].

体表面形状を用いた肩甲骨姿勢の推定

任意の姿勢 i における, 体表面マーカー群から体表面を構成する三角パッチを作成し, それを体表面形状モデル S_{ij} とする (図 1). $j(1,2,\dots,m)$ は, 三角パッチの番号とする. 肩甲骨テンプレート P_{Til} の位置を変化させ, 体表面形状に最も当てはまる位置を推定できれば, 肩甲骨姿勢を決定できる.

$$P_{Til}' = R_{Ai} R_{SA}' R_{SUFi} P_{Siil} + P_{Mi} \quad (4)$$

ここで R_{SUFi} は, サーフェスマップ法で調整される座標変換とし, R_{SUFi} のオイラー角を探索的に変化させることで P_{Til} の位置を変化できる.

次に, 肩甲骨の骨特徴点と肩甲骨テンプレートを重ね合わせるため, P_{Til}' と S_{ij} の最短距離 L_i を求める. L_i が最小となる R_{SUFi} を推定できれば, 体表面形状から肩甲骨の姿勢を決定できる. そこで, P_{Til}' から S_{ij} への垂線を求め, 垂線が三角パッチ内を通過し, かつ, P_{Til}' が体表内に位置する垂線のうち最も短い垂線の足を最近点 P_{Cil} とする (図 4). ただし, 垂線が三角パッチ内を全く通過しない場合は, P_{Til}' 近傍の三角パッチを構成する辺への垂線を算出する. 垂線の足が三角パッチを構成する辺内に存在し, かつ P_{Til}' が体表内に位置する最も短い垂線の足を最近点 P_{Cil} とする (図 4). 距離 L_i を, TS, AA, MID の 3 つ対して算出し, それらの 2 乗和を評価関数とする. 最適化法を用いて評価関数を最小とする姿勢を推定することで, AMC 法とサーフェスマップ法を組み合わせることで肩甲骨姿勢を推定できる.

(2) 実験方法

測定対象

健康男性 7 名(年齢 21.1±1.9 才, 身長 174.0±8.2 cm, 体重 72.0±10.4 kg)を対象とし, 全員の右肩を計測した。対象者は, スポーツ系学部に所属し, 体育会において競技スポーツを経験していた。なお, 測定時に, 右肩関節に安静時もしくは運動時に痛みを持つものはいなかった。すべての対象者には研究内容を十分に説明し, 書面にて同意を得た。なお, 本研究は同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承認を得た(16028)。

被験者の体表には, 前述したマーカを貼付した。マーカ位置の計測には, モーションキャプチャ・システム(MAC3D system; Motion Analysis Corporation, USA)を用いた。サンプリング周波数は 240Hz とした。1 つの姿勢を計測するために, 同じ姿勢を 2 回計測した。1 回目は, Scapular locator (SL)を用いて肩甲骨の骨特徴点と, 体幹と上腕のマーカ, AMC を計測した。2 回目は, その姿勢を維持したまま Scapular locator (SL)を外し, 体表面形状と体幹と上腕のマーカ, AMC を計測した。 Σ_T を基準として 2 回目の測定データに, 1 回目に計測した肩甲骨骨特徴点を重ね合わせることで, 体幹と上腕マーカ, AMC, 体表面マーカ群, 基準となる肩甲骨骨特徴点を得た。

評価対象とする測定姿勢

挙上姿勢: 上肢の姿勢変化にともなう推定精度を評価するため, 次の 25 姿勢を計測した。下垂位と, 前額面(上肢拳上面 0 度)から矢状面(上肢拳上面 90 度)までの拳上面 0 度, 30 度, 60 度, 90 度において, それぞれ 30 度, 60 度, 90 度, 120 度, 150 度, 180 度に上腕を挙上した姿勢を計測した。対象者は, 椅子に座り, 自作したガイドにそって拳上面と挙上角度を設定し, 指示された目印に中指を合わせることで, 測定の間, 上肢の姿勢を維持した(図 2)。

日常生活姿勢: 日常生活動作を想定した姿勢における推定精度を評価するために, Rapp らの報告[11]を参考に, 結髪位, 前方リーチ位, 側方リーチ位, 触口位, 拳上面 45°で 45°拳上位(45°拳上位), 拳上面 45°で 135°拳上位(135°拳上位), 90 度外転の 7 つの姿勢を測定した。キャリアレーション姿勢として, 結帯位, 肩関節下垂位最大外旋位, 肩関節最大伸展位も測定した。

肩甲骨姿勢の推定

提案する推定方法を用いて肩甲骨姿勢を推定し, これを SUF 法とした。同時に SL を用いて肩甲骨の姿勢を測定し, これを触診法とし誤差評価の基準姿勢とした。また比較対象とした推定方法は, 前述した下垂位を基準とした従来型の AMC 法と, Nicholson ら[9]が提案した回帰法の 2 種類とした。これらの推定方法に対しても, 同じ測定データを用いて肩甲骨の姿勢を推定した。

精度評価と統計

触診法を基準として, SUF 法, 従来法, 回帰法の角度を評価した。検定には, フリードマン検定を用いた。事後検定は, ボンフェローニ補正を用いたウィルコクソン符号付順位和検定を用いた。有意水準は 0.05 とした。また, 肩甲骨の 3 つの運動軸について, 触診法を基準としてそれぞれの推定方法の角度差を算出し, 二乗平均平方根誤差(RMSE)を算出した。

上記の全ての計算には, MATLAB (R2019a, MathWorks, U.S.A)を用いた。

4. 研究成果

(1) 挙上姿勢

25 個の挙上姿勢における RMSE を表 1 に示した。表 1 は, 各姿勢において, 推定した肩甲骨姿勢の 3 軸(上方回旋/下方回旋, 内旋/外旋, 前傾/後傾)中の最大 RMSE を示した。SUF 法の最大 RMSE は 13.8°であり, 25 姿勢中 4 姿勢が 5°未満であった。SUF 法の RMSE は拳上角 0°から 120°の間では, 3 つの運動軸全ての RMSE が 10°未満であったが, 拳上 150°以上では RMSE が増加し, 10°以上となる運動軸が生じた。従来法の最大 RMSE は 17.8°であり, 25 姿勢中 2 姿勢が 5°未満であった。従来法の RMSE は拳上 30°位から 90°位の間では, 3 つの運動軸全て 10°未満であったが, 拳上 120°以上では RMSE は大きく増加し, 10°以上となる運動軸が生じた。回帰法の最大 RMSE は 9.0°であり, 25 姿勢中 5 姿勢で 5°未満となった。いずれの姿勢においても, 3 つの運動軸全ての RMSE は 10°未満であった。

(2) 日常生活姿勢

日常生活動作を想定した姿勢における肩甲骨姿勢の平均値と標準偏差を表 2 に示した。肩甲骨の内旋/外旋は, 回帰法と触診法を比較すると側方リーチ位に有意差がみられた。肩甲骨の前傾/後傾は, SUF 法と触診法を比較すると触口位と 135°拳上位に有意差がみられた。さらに回帰法と触診法を比較すると, 結髪位に有意差がみられた。

RMSE は, 各姿勢における肩甲骨姿勢の 3 軸(XYZ 軸)中の最大値を代表値とし, SUF 法の RMSE は最大 9.5°, 従来法の RMSE は最大 14.3°, 回帰法の RMSE は最大 8.6°であった。

(3) 考察

本研究では, サーフェスマップ法と AMC 法を併用して肩甲骨姿勢を推定する方法(SUF 法)を提案し, さまざまな上腕姿勢における肩甲骨姿勢を評価した。

挙上姿勢について、SUF法は、挙上角 120°以下では、RMSE が 10°以下であり、挙上角 120°以上の 12 姿勢中 6 姿勢 (50%) で RMSE が 10°以上であった。従来の AMC 法の RMSE は、先行研究[12]と同様に、上腕挙上角 120°以上において誤差が増加し、挙上角 120°以上の 12 姿勢中 9 姿勢 (75%) で RMSE が 10°以上であった。SUF法は、従来の AMC法と比較して、25 姿勢中 24 姿勢で RMSE が低下したことから、従来法よりも精度が向上したと考えられる。次に、回帰法は、RMSE が 10°以下であった。SUF法は、回帰法と比較して、挙上角 90°以下の 13 姿勢中 9 姿勢(69%)において RMSE が減少し、挙上角 120°以上の 12 姿勢中 2 姿勢(16%)において RMSE が減少した。以上から SUF法は、回帰法に対して挙上角 120 度以上においては誤差が増加したが、挙上角 90 度以下では誤差が減少したといえる。

日常生活姿勢に関して、結髪と側方リーチにおける肩甲骨の前傾/後傾角度の推定値は、回帰法にのみ有意差が認められた。回帰法は、胸郭に対する上腕の姿勢 (3 軸) と肩峰の上下位置と前後位置の合計 5 つを入力変数として回帰式を構築している [5,11]。そのため、肩峰の左右運動が反映されない。とくに肩峰の左右運動を含む側方リーチは、その運動が反映できない回帰法において角度差が大きくなったと考えられる。次に、触口位と 135 度挙上位において、SUF法の前傾/後傾角度のみに有意差が認められた。他の姿勢においても、有意差はないものの前傾/後傾角度が過小評価される傾向が見られた。本法は、AMC を併用するため、肩峰周辺の体表形状が計測できない。そのため骨特徴点 AA を含めることができず、AI, TS とその中点の 3 点のみを肩甲骨プレートとして体表形状を重ね合わせた。そのため特徴点が少なく、とくに前傾/後傾角度に差が生じたと考えられる。より精度を向上するには、SL を改良して事前計測する骨特徴点数を増加することが今後の課題となる。

本研究の限界について述べる。測定するマーカが密集して数も多いことから、有効な測定データを取得することが困難であった。これは、モーションキャプチャ・システムのカメラ台数を増やすことで改善ができるが、コストが増加する問題がある。また、測定前の準備に、必ず一定の時間がかかることである。従来よりも体表に貼付するマーカ数を約半分に減らすことができたが、代わりにキャリブレーション姿勢を複数測定する必要が生じた。そのため対象者の負担を完全には軽減できない。今後は、測定前に費やす時間を軽減するため、事前に測定するキャリブレーション姿勢の適切な数を検討する必要がある。

表 1 挙上姿勢における RMSE

最大RMSE[deg.]		挙上角度						
挙上面	推定方法	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0°	SUF法	5.2	4.3	5.9	6.8	6.4	10.4	13.5
	従来法	0.0	6.6	8.4	7.9	9.9	11.7	16.5
	回帰法	7.6	6.1	7.0	5.8	4.0	4.9	8.3
30°	SUF法		3.6	3.8	5.7	6.4	8.0	10.2
	従来法		4.8	7.4	7.3	9.2	10.3	16.5
	回帰法		4.0	5.0	6.0	5.2	5.1	5.7
60°	SUF法		4.4	5.3	5.1	7.1	10.5	13.5
	従来法		6.7	6.1	6.7	9.4	12.7	13.5
	回帰法		5.8	5.7	4.3	9.0	6.7	8.5
90°	SUF法		5.2	5.0	7.2	8.3	8.5	13.8
	従来法		7.3	9.6	7.9	13.9	12.6	17.8
	回帰法		5.1	8.7	5.8	6.9	8.8	5.6

太文字は、RMSE10°以上を示す。

表 2 日常生活姿勢における肩甲骨姿勢の推定角度

推定方法	結髪位	前方リーチ位	側方リーチ位	触口位	45°挙上位	135°挙上位	90度外転	
上方回旋/ 下方回旋 [deg.]	触診	37.3 (6.0)	19.5 (5.1)	28.4 (6.0)	16.4 (8.2)	3.7 (7.9)	38.4 (4.3)	20.5 (5.4)
	SUF法	36.8 (6.6)	22.1 (6.0)	31.2 (5.9)	19.2 (9.7)	5.4 (8.5)	40.9 (6.8)	22.1 (4.4)
	従来法	33.4 (8.6)	18.2 (6.8)	28.4 (7.2)	16.3 (11.7)	3.2 (6.3)	35.6 (9.8)	20.1 (5.5)
	回帰法	40.1 (4.1)	19.8 (5.0)	32.1 (3.4)	19.0 (6.7)	6.3 (4.3)	40.1 (4.1)	23.1 (3.3)
内旋/外旋 [deg.]	触診	23.6 (9.4)	54.8 (8.2)	16.5 (7.0)	26.4 (7.1)	36.7 (3.0)	32.1 (4.0)	45.6 (4.8)
	SUF法	26.9 (8.5)	51.6 (6.0)	21.7 (6.8)	33.4 (8.0)	36.5 (2.0)	35.2 (2.5)	46.7 (3.4)
	従来法	28.4 (15.9)	54.8 (12.5)	20.8 (11.1)	37.3 (11.8)	37.6 (4.3)	37.7 (8.6)	49.1 (9.6)
	回帰法	24.4 (7.9)	54.9 (8.4)	23.3 (6.3)	26.7 (7.9)	37.0 (2.6)	27.6 (3.5)	43.3 (5.8)
前傾/後傾 [deg.]	触診	2.5 (6.4)	-3.5 (6.6)	0.9 (4.7)	-3.6 (3.2)	-3.8 (3.5)	3.6 (3.6)	0.4 (6.3)
	SUF法	0.4 (6.2)	-8.0 (3.7)	-0.7 (6.6)	-6.3 (3.6)	-7.1 (2.1)	-1.9 (4.5)	-5.3 (2.5)
	従来法	5.2 (9.5)	3.1 (9.6)	6.6 (8.6)	-6.2 (5.7)	-3.3 (4.4)	3.9 (8.0)	0.4 (6.0)
	回帰法	6.5 (5.8)	-2.0 (6.6)	3.1 (7.0)	-1.9 (3.3)	-4.9 (3.2)	5.5 (6.5)	0.7 (3.8)

太文字は、触診と各推定法の間、有意差が認められたことを示す。

(4) まとめ

本申請の成果は、肩甲骨を含む上体の運動として、肩甲骨を含む肩関節運動の推定に集中した。提案した SUF法は、AMC を用いて肩甲骨の骨特徴点位置を推定し、これを初期値としてサーフェスマップ法を用いて骨特徴点位置と体表面形状を探索的に重ね合わせることで、最終的な肩甲骨姿勢を推定した。特定のスポーツ固有の上肢動作だけではなく、上肢の広い可動範囲において、本申請の推定方法と、過去に報告された代表的な肩甲骨の推定方法の誤差を評

価することで、それぞれの推定方法の利点と欠点を明らかにした。一つの手法で、全ての姿勢に対して推定精度を最良とすることは困難であり、測定対象とする動作に応じて適切な推定方法を選択することが必要と考えられる。上腕の挙上角度が、90°以下運動の場合、本研究の推定方法が有効と考えられる。今後の展望は、90°以上の上腕挙上運動については、回帰法とサーフェスマップ法を組み合わせることで、精度の向上できるか検討することである。

<引用文献>

- [1] McQuade KJK. Dynamic scapulohumeral rhythm: the effects of external resistance during elevation of the arm in the scapular plane. *J Orthop Sports Phys Ther*, 27(2), 125-133, 1998.
- [2] van Andel CC. Recording scapular motion using an acromion marker cluster. *Gait & posture*, 29(1), 123-128, 2009.
- [3] Meskers CGM, Vermeulen HM, de Groot JH, van der Helm FCT, Rozing PM. 3D shoulder position measurements using a six-degree-of-freedom electromagnetic tracking device. *Clin Biomech*, 13(4), 280-292, 1998.
- [4] Brochard S, Lempereur M, Rémy-Néris O. Double calibration: An accurate, reliable and easy-to-use method for 3D scapular motion analysis. *J Biomech*, 44(4), 751-754, 2011.
- [5] Nicholson KF, Richardson RT, Rapp EA, Quinton RG, Anzilotti KF, Richards JG. Validation of a mathematical approach to estimate dynamic scapular orientation. *J Biomech*, 54, 101-105, 2017.
- [6] Nicholson KF, Richardson RT, van Roden EAR, Quinton RG, Anzilotti KF, Richards JG. Machine learning algorithms for predicting scapular kinematics. *Med Eng Phys*, 65, 39-45, 2019.
- [7] Mattson JM, Russo SA, Rose WC, Rowley KM, Richards JG. Identification of scapular kinematics using surface mapping, A validation study, *J Biomech*, 45, 2176-2179, 2012.
- [8] 相見貴行, 中村康雄. モーションキャプチャ・システムを用いた体表面形状計測による肩甲骨運動の推定, *バイオメカニズム* 23, 43-54, 2016.
- [9] 畑田宏貴, 林豊彦, 田中洋, 乾浩明, 信原克哉. 皮膚面の形状変化を用いた肩甲骨姿勢の推定と精度評価, *バイオメカニズム* 24, 17-26, 2018.
- [10] Wu G, van der Helm FCT, Veeger HEJ, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech*, 38(5), 981-992, 2005.
- [11] Rapp EA, Richardson RT, Russo SA, Rose WC, Richards JG. A comparison of two non-invasive methods for measuring scapular orientation in functional positions. *J Biomech*, 61, 269-274, 2017.
- [12] Lempereur M, Brochard S, Leboeuf F, Rémy-Néris O. Validity and reliability of 3D marker based scapular motion analysis: A systematic review, *J Biomech*, 47(10), 2219-2230, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

中村康雄, 松村葵, 植田篤史, サーフェスマップ法と肩峰マーカークラスタ法を用いた肩甲骨姿勢の推定, *信学技法*, 査読無, *MBE2019-13*, 2019.5, pp.67-72

〔学会発表〕(計 3 件)

Aoi Matsumura, Atsusi Ueda, Yasuo Nakamura, A new calibration method for estimating scapular posture during shoulder movements. 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science (Dublin, Ireland), 2018.7

松村葵, 植田篤史, 中村康雄, 様々な肩関節運動に対応した肩甲骨姿勢の推定方法の検討, 第14回肩の運動機能研究会(東京), 2017.10

松村葵, 植田篤史, 中村康雄, 体表マーカによる肩甲骨運動のバイオメカニクス的分析, 第1回基礎理学療法学夏の学校(於, 新潟県南魚沼郡), 2016.8

6. 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名: 松村 葵

ローマ字氏名: (MATSUMURA, aoi)

研究協力者氏名: 植田 篤史

ローマ字氏名: (UEDA, atsushi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。