

2011年 1月 6日

## 博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学  
研究科名 人間科学研究科  
申請者氏名 井上 恒  
学位の種類 博士（人間科学）  
論文題目 上肢挙上および降下における肩甲骨の3次元回転運動  
Three-dimensional Scapular Rotation during Humeral Elevation and Lowering  
in the Scapular Plane  
論文審査員 主査 早稲田大学教授 鈴木 秀次 医学博士（千葉大学）  
副査 早稲田大学教授 藤本 浩志 博士（工学）（早稲田大学）  
副査 早稲田大学教授 矢内 利政 Ph.D. (University of Iowa)

日常生活やスポーツ活動等の場面で上肢と肩関節は極めて重要な働きをする。上肢は胸郭につながる可動性の高い運動器系で、肩関節がその機能を左右する。なかでも上肢と胸郭をつなぐ肩甲骨の働きが重要である。肩甲骨は三角形をした扁平骨で、胸郭の後上方にあり、上腕骨、鎖骨、胸郭とそれぞれ肩甲上腕関節、肩鎖関節、肩甲胸郭関節を作り、外部環境との相互作用によっては片方だけでも内外側、上下方向へ其々最大 10～15cm ずれ動く。また、正常な肩関節は上肢が下垂状態から外転して 180 度まで挙上するとき、120 度は肩甲上腕関節で、残りの 60 度は肩甲骨の上方回旋が担う。この肩甲上腕関節の外転 2 度に対し肩甲骨が 1 度上方回旋するリズムが正常な機能であるとされている。長い間、肩の運動機能には上方回旋が重要であると考えられてきた。近年、上肢挙上における肩甲骨の方位は上方回旋以外にも 3 次元的に変化し (Johnson *et al.*, 1993; McClure *et al.*, 2001)、そのような動きも上腕の挙上に不可欠であると考えられている (Kibler and Sciascia, 2010)。また、通常の肩甲骨の回転から逸脱することは傷害に関連すると考えられており (Inman *et al.*, 1944)、肩甲骨の回転の特徴を明らかにするために上方回旋に対する外的負荷の影響 (Michiels and Grevenstein, 1995) や動作速度の影響 (de Groot *et al.*, 1998) が検討されている。しかし、これら種々の負荷要因が上方回旋以外の動きに与える影響については、十分に明らかになっていない。上肢の挙上に伴う肩甲骨の回転の特性を 3 次元的に知ることが、肩の運動機能の維持、障害発生の予防をはじめ、リハビリテーションやトレーニングを行う上で重要な知見となり、理学療法やスポーツの分野で極めて有用である。

このような肩甲骨の回転による 3 次元方位を動的かつ正確に測定することは、従来の一般的な動作解析の方法である光学カメラでは困難であった。肩甲骨は皮膚の下を滑る

ように動くため、1つの骨特徴点に対し1つの体表マーカを用いて2次元または3次元の座標を取る従来の方法では、肩甲骨の回転を正確に計測することはできなかった。しかし、近年、動作解析の手法に導入された磁気を利用した電磁ゴニオメータは1つのセンサーで方位を3次元で計測することができ、体表からの測定においても測定精度の問題を解決する可能性が見出された。

そこで、本論文は電磁ゴニオメータを用いて胸郭に対する肩甲骨の3次元回転運動が上肢挙上および降下時の外的負荷と速度によってどのように変化するかをしらべ、検討している。

結果は以下のとおりである。

実験1では、電磁ゴニオメータが肩甲骨の3次元方位測定方法として妥当であることを確認した。その結果、被験者が座位の姿勢で上肢を脱力下垂状態から前額面から30度前方の角度で挙上したとき、測定精度を検証している先行研究の結果も考慮すると、本電磁ゴニオメータの測定は上腕挙上角が120度以下であれば肩甲骨の3次元方位(外転角、上方回旋角、後方傾斜角)の測定値に妥当性があることを示した。

実験2では、前述の実験と同様の測定方法を用いて、外的負荷を0 kg、2.5 kg、5.0 kgと増して上肢を挙上したときの挙上角20度から120度までの範囲における肩甲骨の3次元方位(外転角、上方回旋角、後方傾斜角)を13人の被験者についてしらべ検討した。その結果、外的負荷が増大しても上肢挙上によって外転角、上方回旋角には影響がみられなかった。しかし、後方傾斜角では外的負荷の増大に対する影響が現れた。外的負荷0 kgのときには上肢挙上によって9度程後方傾斜したが、外的負荷の増大によってその度合いが有意に抑えられた。また、同じ外的負荷の条件で動作速度が肩甲骨の3次元方位に与える影響は小さかった。さらに、同様の運動時の肩甲骨の回転軸の向き(pitch角、yaw角)について検討した。いかなる方位の変化も回転運動によって生じることから、外的負荷による方位の変化がどのような回転運動によってもたらされたのか、その物理的原因を求めた。その結果、肩甲骨に対する回転軸の上下方向の傾きを示すpitch角では外的負荷の増大による有意な変化はみられなかった。ところが、回転軸の内側外側方向の傾きを示すyaw角においては、外的負荷によって内側方向へ有意に変化し、上肢挙上60度で最大の変化となり、以後当初の軸の向きに戻る傾向を示した。この回転軸の向きの変化は、外的負荷によって肩甲骨に作用している力のモーメントの総和の向きが外的負荷によって変化したことを示すものである。方位が変化したタイミングと回転軸の向きの変化のタイミングを合わせて検討すると、回転軸の向き(yaw角)の変化が後方傾斜角を抑えることになり、肩甲骨の運動は方位と回転軸の両方からしらべ検討することが重要であることが示唆された。

実験3では、上肢降下時の肩甲骨の動きを挙上時と比較、検討した。その結果、外転角は、降下時に外的負荷の違いに対する影響はみられなかったが、上腕挙上角80度以下で挙上局面よりも有意に小さくなった。上方回旋角は、降下時に上腕挙上角60度以

下で外的負荷の増大によって有意に小さくなった。外的負荷 0 kg のときには挙上局面と降下局面に有意な差はなかったが、降下時に外的負荷で減少した上方回旋角は、挙上局面の同条件のものとは比べて有意に小さかった。後方傾斜角は、降下時の上腕挙上角 120 度において、挙上局面でみられた外的負荷による有意な減少が降下局面においても同様にみられた。そして、上腕が降下してもその差は維持された。上方回旋角同様、外的負荷 0 kg のときには挙上局面と降下局面に有意な差はなかったが、上腕挙上角 60 度以下で、降下時に外的負荷で減少した後方傾斜角は、挙上局面の同条件のものとは比べて有意に小さかった。肩甲骨は複数の筋の協調的な働きによって回転している。これらの結果から、複数の筋の協調性が、挙上時と降下時で異なることが示唆された。

以上より、本論文の成果は、肩甲骨の回転運動は外的負荷および上肢挙上と降下の動作局面によって 3 次元的に変化することを示し、その変化の様子を詳細に明らかにしたことである。関節や骨の運動は、身体運動または運動学における基礎である。いわゆる肩関節は上肢の最近位にあり、その運動は手先などの遠位の運動に大きな影響を与える。そのため、上腕骨と共に肩関節を構成し、上肢の運動の土台となる肩甲骨の運動を明らかにしたことは、身体運動の科学として意義深い。本論文では、生体を対象とした運動状態での肩甲骨の回転を 3 次元的に測定し、詳細な結果を報告した。これらの知見は、バイオメカニクス、機能解剖学、体力科学等の観点からみて極めて有用である。本論文の被験者は健常者であるため、この結果を直接的に障害予防やリハビリテーション等に適用していくことは難しいが、今後のこれらの分野の研究の基礎となるものであり、特に理学療法やスポーツ指導の現場に多くの示唆を与えるものである。また、本論文の研究成果は学術的にみても極めて重要であり、これまでの肩に関する研究を発展させた重要な研究として高く評価できる。

本論文（一部を含む）が掲載された主な学術論文は以下のとおりである。

1. 井上恒，矢内利政，鈴木秀次：上肢への外的負荷が上肢挙上および降下時における肩甲骨の3次元運動に与える影響．東京体育学研究 2，2010（印刷中）

以上から、本論文が優れた学術的価値を有するものであると判断し、博士（人間科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以 上