

博士（人間科学）学位論文

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

2011年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

井上 恒

Inoue, Koh

研究指導教員： 鈴木 秀次 教授

ヒトの身体運動において、上肢の挙上は日常生活や労働作業、スポーツ活動等のあらゆる場面で求められる動きである。挙上という動作は肩が持つ運動機能によって達成される。この運動機能は他の関節や四肢での代替が利き難いため、肩は運動機能の維持や傷害発生の予防が重要となる身体部位である。そのため、機能障害が発生した時にはその回復の必要性は高いと考えられる。さらに、肩は上肢の近位に位置しているため、その運動は遠位への位置や速度に対する影響が大きい。したがって、肩の運動はスポーツ動作のパフォーマンスの重要な決定因子にもなり得るものである。このようにヒトにとって重要な運動機能をもつ肩であるが、そこに求められている機能維持、リハビリテーション、パフォーマンス向上等の要求に対し、どのような方策を取ればよいのか、現状では十分な回答は得られていない。その原因の一つに、肩の運動機能の特徴が十分に明らかになっていないという、運動学上の基礎的な問題が上げられる。

肩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、上肢の挙上には肩甲骨の回転運動が伴うことが知られている。肩甲骨の回転は肩の運動機能に必要不可欠であり、通常肩甲骨の回転からの逸脱は肩の機能障害と関連すると考えられている(Inman et al., 1944)。実際、肩に傷害のある患者では、上肢挙上時の肩甲骨の回転が健常者とは異なっている(Lukasiewicz et al., 1999; Ludewig and Cook, 2000)。しかし、どのような動作条件が肩甲骨の回転を変化させるか、さらにはその変化はどのようなものであるかは、肩に傷害のある患者や、高いパフォーマンスを求められるアスリートのみならず、健常者においても十分に明らかになっていない。前述した肩に求められている要求に答えを見つけていくには、まず、ヒトの肩甲骨の回転運動にどのような特性があるのかを詳細に明らかにしていく必要がある。したがって、本研究は、健常者における上肢挙上に伴う肩甲骨の回転がどのような要因でいかなる変化をするかを明らかにし、運動学上の基礎的な知見を示すことを目的とした。

第1の実験として、肩甲骨の3次元方位測定の妥当性について検討した。肩甲骨の動作を測定するには3次元、動的かつ非侵襲な方法が求められる。そのため、電磁ゴニオメータを用いて、皮膚表面から肩甲骨の方位を推定する測定方法の妥当性について検討した。その結果、先行研究の結果も考慮すると、上肢の挙上角が 120° 以下においては、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が示された。本論文の以降の研究は、これを基に行われた。

第2の実験では、上肢挙上時の外的負荷が肩甲骨の3次元回転運動に与える影響について検討した。外的負荷の影響は、肩甲骨の上方回旋についてのみ検討されてきたが、肩甲骨の方位は単純な上肢挙上においても外転や後方傾斜を含んでおり、3次元的に複雑に回転する。また、いかなる方位の変化も回転運動によって生じる。そこで、方位の変化の直接の物理的原因である回転運動を検討するために、方位に併せて回転軸についても観察した。

その結果、外的負荷は肩甲骨の後方傾斜を減少させることが明らかになった。また、回転軸の向きが後方傾斜の変化に先行して変化した。これにより、方位の変化が回転運動によって生じるという物理的な関係を示された。そして、回転軸の向きの変化は、肩甲骨に作用する力のモーメントの総和の向きが変化したこと示すものである。

第 3 の実験では、上肢挙上時の動作速度が肩甲骨の 3 次元回転に与える影響について検討した。先行研究では、外的負荷の無い条件での動作速度の影響については検討されているが、外的負荷のある状態での動作速度については検討されていない。しかし、日常生活やスポーツ動作での様々な場面では、同じ外的負荷に対して異なる動作速度を求められることは頻繁にある。実験の結果、外的負荷は肩甲骨の後方傾斜を減少させるが、同じ外的負荷の状態で動作速度が変化しても、肩甲骨の方位に変化は少ないことが示された。これは肩甲骨と上腕骨の体節間の動きを変えないために必要な力のモーメントが肩甲上腕関節および肩甲胸郭関節の筋骨格系によって生み出されていたことを示す。

第 4 の実験として、上肢挙上および降下時の外的負荷が肩甲骨の 3 次元回転に与える影響について検討した。肩甲骨の動きに関する研究では、上腕の挙上に関するものが大半を占めており、降下に関する研究の数は限られている。しかし、肩に障害のある患者は上腕の挙上時よりも降下時に疼痛を訴えると言われており、降下時の肩甲骨の運動の特徴を明らかにすることも重要であると考えられる。実験の結果、降下時では外的負荷に伴って後方傾斜角が減少した。さらに、低挙上角で外的負荷の増加に伴い下方回旋が増大した。以上のことから、外的負荷や動作局面によって 3 次元的に変化する肩甲骨の方位が明らかとなった。これら結果から、上肢挙上時と降下時では肩甲骨の回転に作用する筋群の協調作用が異なる可能性が示唆された。

本研究は、上肢挙上に伴う肩甲骨の 3 次元回転がどのような条件で変化するかを詳細に検討することを目的とした。その結果、外的負荷および動作局面(挙上・降下)による変化が明らかになり、動作速度の影響は少ないことが示された。これらの結果は、ヒトの身体運動における肩甲骨の運動学的特徴として重要な基礎的知見であり、理学療法やスポーツ動作等の関連分野に多くの示唆を与えるとともに、それら研究分野の発展の基礎となるものである。

ヒトの身体運動において、上肢の挙上は日常生活や労働作業、スポーツ活動等のあらゆる場面で求められる動きである。挙上という動作は肩が持つ運動機能によって達成される。この運動機能は他の関節や四肢での代替が利き難いため、肩は運動機能の維持や傷害発生の予防が重要となる身体部位である。そのため、機能障害が発生した時にはその回復の必要性は高いと考えられる。さらに、肩は上肢の近位に位置しているため、その運動は遠位への位置や速度に対する影響が大きい。したがって、肩の運動はスポーツ動作のパフォーマンスの重要な決定因子にもなり得るものである。このようにヒトにとって重要な運動機能をもつ肩であるが、そこに求められている機能維持、リハビリテーション、パフォーマンス向上等の要求に対し、どのような方策を取ればよいのか、現状では十分な回答は得られていない。その原因の一つに、肩の運動機能の特徴が十分に明らかになっていないという、運動学上の基礎的な問題が上げられる。

肩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、上肢の挙上には肩甲骨の回転運動が伴うことが知られている。肩甲骨の回転は肩の運動機能に必要不可欠であり、通常肩甲骨の回転からの逸脱は肩の機能障害と関連すると考えられている(Inman et al., 1944)。実際、肩に傷害のある患者では、上肢挙上時の肩甲骨の回転が健常者とは異なっている(Lukasiewicz et al., 1999; Ludewig and Cook, 2000)。しかし、どのような動作条件が肩甲骨の回転を変化させるか、さらにはその変化はどのようなものであるかは、肩に傷害のある患者や、高いパフォーマンスを求められるアスリートのみならず、健常者においても十分に明らかになっていない。前述した肩に求められている要求に答えを見つけていくには、まず、ヒトの肩甲骨の回転運動にどのような特性があるのかを詳細に明らかにしていく必要がある。したがって、本研究は、健常者における上肢挙上に伴う肩甲骨の回転がどのような要因でいかなる変化をするかを明らかにし、運動学上の基礎的な知見を示すことを目的とした。

第1の実験として、肩甲骨の3次元方位測定の妥当性について検討した。肩甲骨の動作を測定するには3次元、動的かつ非侵襲な方法が求められる。そのため、電磁ゴニオメータを用いて、皮膚表面から肩甲骨の方位を推定する測定方法の妥当性について検討した。その結果、先行研究の結果も考慮すると、上肢の挙上角が 120° 以下においては、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が示された。本論文の以降の研究は、これを基に行われた。

第2の実験では、上肢挙上時の外的負荷が肩甲骨の3次元回転運動に与える影響について検討した。外的負荷の影響は、肩甲骨の上方回旋についてのみ検討されてきたが、肩甲骨の方位は単純な上肢挙上においても外転や後方傾斜を含んでおり、3次元的に複雑に回転する。また、いかなる方位の変化も回転運動によって生じる。そこで、方位の変化の直接の物理的原因である回転運動を検討するために、方位に併せて回転軸についても観察した。

その結果、外的負荷は肩甲骨の後方傾斜を減少させることが明らかになった。また、回転軸の向きが後方傾斜の変化に先行して変化した。これにより、方位の変化が回転運動によって生じるという物理的な関係を示された。そして、回転軸の向きの変化は、肩甲骨に作用する力のモーメントの総和の向きが変化したこと示すものである。

第 3 の実験では、上肢挙上時の動作速度が肩甲骨の 3 次元回転に与える影響について検討した。先行研究では、外的負荷の無い条件での動作速度の影響については検討されているが、外的負荷のある状態での動作速度については検討されていない。しかし、日常生活やスポーツ動作での様々な場面では、同じ外的負荷に対して異なる動作速度を求められることは頻繁にある。実験の結果、外的負荷は肩甲骨の後方傾斜を減少させるが、同じ外的負荷の状態でも動作速度が変化しても、肩甲骨の方位に変化は少ないことが示された。これは肩甲骨と上腕骨の体節間の動きを変えないために必要な力のモーメントが肩甲上腕関節および肩甲胸郭関節の筋骨格系によって生み出されていたことを示す。

第 4 の実験として、上肢挙上および降下時の外的負荷が肩甲骨の 3 次元回転に与える影響について検討した。肩甲骨の動きに関する研究では、上腕の挙上に関するものが大半を占めており、降下に関する研究の数は限られている。しかし、肩に障害のある患者は上腕の挙上時よりも降下時に疼痛を訴えると言われており、降下時の肩甲骨の運動の特徴を明らかにすることも重要であると考えられる。実験の結果、降下時では外的負荷に伴って後方傾斜角が減少した。さらに、低挙上角で外的負荷の増加に伴い下方回旋が増大した。以上のことから、外的負荷や動作局面によって 3 次元的に変化する肩甲骨の方位が明らかとなった。これら結果から、上肢挙上時と降下時では肩甲骨の回転に作用する筋群の協調作用が異なる可能性が示唆された。

本研究は、上肢挙上に伴う肩甲骨の 3 次元回転がどのような条件で変化するかを詳細に検討することを目的とした。その結果、外的負荷および動作局面(挙上・降下)による変化が明らかになり、動作速度の影響は少ないことが示された。これらの結果は、ヒトの身体運動における肩甲骨の運動学的特徴として重要な基礎的知見であり、理学療法やスポーツ動作等の関連分野に多くの示唆を与えるとともに、それら研究分野の発展の基礎となるものである。