

原 著

上肢挙上運動への胸椎, 腰椎および 骨盤運動の関与

昭和大学保健医療学部保健医療学研究科後期課程

千葉 慎一*

昭和大学保健医療学部理学療法学科

関屋 昇 宮川 哲夫

抄録：脊柱の運動は上肢挙上運動に直接的に影響し、また、肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の協調運動に間接的に影響すると考えられ、その運動機能の低下は肩関節障害を招く原因となりうる。したがって、脊柱の運動機能の改善を図ることが、肩関節疾患患者に対する治療手段の一つとなることが予想される。本研究の目的は、①上肢挙上運動時の胸椎、腰椎、骨盤運動の関与をキネマティクスの的に明らかとすること、②各セグメント間の協調関係を明らかにすることである。対象は肩関節および体幹に外傷や疾患の既往のない健常者（男性9名、年齢：22歳～37歳、平均28.4±5.8歳）である。被験者に自然な椅座位で肩関節の両側同時屈曲および同時外転を最終可動域まで挙上させ、VICON社製三次元動作解析装置（VICON MXシステム）を用いて肩関節屈曲および外転運動時の胸椎伸展角度、腰椎伸展角度および骨盤前傾角度を計測した。統計学的処理は、肩関節屈曲角度と外転角度を要因として、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度に関する一要因反復測定分散分析を行った。また、ピアソンの相関係数を用いて各セグメント間の相関分析を行った。分散分析の結果、胸椎は肩関節屈曲運動に伴い2次関数的に伸展し、最終的に約7°伸展し、胸椎伸展角度に上肢屈曲角度の主効果が認められた。腰椎は屈曲75°までに約3°伸展したが、屈曲80°から140°までの間には約2°屈曲し、上方凸の2次関数的変化を示し、腰椎角度に屈曲角度の主効果が認められた。骨盤は運動前半にはほとんど動かず、後半にわずかに前傾し、骨盤前傾角度に肩関節屈曲角度の主効果が認められた。肩関節外転運動では、胸椎は運動開始直後から直線的に約10°伸展し、胸椎伸展角度に肩関節外転角度の主効果が認められた。腰椎と骨盤には肩外転角度との関係は認められなかった。相関分析の結果、肩関節屈曲運動において、肩関節屈曲動作中に腰椎が屈曲するときに骨盤は前傾する傾向（ $r=-0.380$ ）を、胸椎が伸展するときに腰椎は屈曲する傾向（ $r=-0.618$ ）を、胸椎が伸展するときに骨盤は前傾する傾向（ $r=0.688$ ）を示した。肩関節外転運動において、腰椎は屈曲するときに骨盤が前傾する傾向（ $r=-0.463$ ）、胸椎が伸展するときに腰椎は屈曲する傾向（ $r=-0.306$ ）、胸椎が伸展するときに骨盤が前傾する傾向（ $r=0.218$ ）が認められた。上肢挙上動作には胸椎、腰椎、および骨盤の運動がそれぞれ関連しあいながら関与することが確認された。特に胸椎の伸展運動は上肢挙上運動に直接的に寄与するとともに、肩甲骨の運動に必要な運動面を形成することに寄与するが、腰椎および骨盤の運動は、上肢挙上に伴う上半身重心位置の変化に対応するための代償的運動であることが示唆された。

キーワード：肩関節挙上、脊柱運動、胸椎伸展、腰椎伸展、骨盤前傾

緒 言

Codman¹⁾により肩甲上腕リズムが提唱されて以来、上肢挙上運動における肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の関係は諸家により多くの研究が行われ、上肢

挙上運動は肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の協調運動であることが広く知られるようになった²⁻⁵⁾。また、肩関節疾患患者は、肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節との間の協調性に問題があるという報告も多く⁶⁻⁹⁾、その協調性の破綻が、肩関節疾患の原因となってい

*責任著者

ることが多い。そのため、臨床現場において肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節の協調性の改善を図ることは、肩関節疾患の治療として腱板機能の改善を図ることと同等に重要視されている。

一方、上肢挙上運動には肩甲上腕関節や肩甲胸郭関節を含む肩関節複合体の他に脊柱も関与すると考えられている。Calliet¹⁰⁾ は上肢挙上動作に胸椎伸展運動が伴うことを、Kapandji¹¹⁾ は上肢を最大挙上させるためには腰椎の伸展が必要であることを述べている。また、塚本¹²⁾ は健康成人では上肢挙上角度 180° で胸椎伸展が最大になることを、鈴木ら¹³⁾ は両上肢前方挙上時の肩甲骨と体幹の動きについて検討し、上肢前方挙上 95.5° 以降から体幹は伸展すると報告している。Fayad ら¹⁴⁾ は一側の肩関節屈曲と外転運動時の体幹運動を、磁気式三次元動作解析装置を用いて計測し、屈曲、外転動作に伴って上部体幹の後方傾斜、側方傾斜、回旋が生じることを示した。Crosbie¹⁵⁾ は Fayad ら¹⁴⁾ と同様の方法を用いて上肢挙上（屈曲、外転、肩甲骨面上挙上）時の上位胸椎、下位胸椎、腰椎の運動を計測し、両上肢の屈曲運動時に胸椎（特に下位胸椎）の伸展運動が大きいこと、腰椎にはほとんど運動が認められなかったことを示した。これらの報告は体幹の運動が上肢挙上運動に直接関与していることを示している。また、上田ら¹⁶⁾ は若年者と高齢者の上肢挙上時の体幹アライメントの違いについてについて検討し、若年者は 150° 挙上位および最大挙上位で胸椎後彎角が減少していたのに対して、高齢者には有意な差が認められず、胸椎伸展運動の制限が高齢者の上肢挙上角度を制限する要因になっていると報告している。山本ら¹⁷⁾ は胸椎後彎や平背などの姿勢異常が肩関節痛や腱板断裂に及ぼす影響について検討し、肩関節痛や腱板断裂は胸椎後彎等の姿勢異常を示す者に多く、姿勢異常を示す者には肩関節の自動挙上角度、外旋筋力および、QOL 低下例が多かったと報告している。これらの報告は、体幹機能の低下が肩関節障害の直接的な原因になりうることを示唆している。また、肩関節の動的安定化機構である肩甲胸郭関節は胸郭後面を運動面としており、その運動面は胸郭後面が形状を変えることにより変化する。胸郭の形状は脊柱、特に胸椎の運動に伴って変化するため、脊柱の運動は肩甲胸郭関節の運動機能に影響を及ぼすと考えられる。

このように脊柱の運動は上肢挙上運動に直接的（脊柱伸展角度が上肢挙上角度の一部を担う）、また、間接的（胸郭後面の形状を変えることで肩甲胸郭関節の運動機能に影響を及ぼす）に影響すると考えられ、その運動機能の低下は肩関節障害を招く原因となりうる。したがって、脊柱の運動機能の改善を図ることが、肩関節疾患患者に対する治療手段の一つとなることが予想される。しかし、上肢挙上運動時の脊柱の運動は、未だ十分に明らかになってはいない。

前述したように上肢挙上運動に伴う体幹の運動機能に関する報告は散見されるが、これらの報告は上肢挙上に伴う腰椎や胸椎単独の運動に関する報告である。しかし、脊柱の動きは胸椎、腰椎、骨盤が連動して起こるものであり、脊柱運動の改善を肩関節疾患患者の治療に応用するためには上肢挙上に伴う胸椎、腰椎、骨盤の連動した動きを解明する必要がある。また、三浦ら¹⁸⁾ は座標移動分析を用いて肩関節屈曲と外転動作時の肩甲骨の運動を検討し、屈曲時には 30°～120° まで肩甲骨は前額面上で外転しながら上方回旋し、150° 以降では逆に内転しながら上方回旋するのに対して、外転時には、外転 90° まで肩甲骨は前額面上で内転しながら上方回旋し、90° 以降は外転しながら上方回旋すると報告している。この結果は、肩甲上腕リズムが肩関節屈曲と外転で異なることを示唆しており、脊柱の運動が肩関節運動に関与するのであれば、胸椎、腰椎、骨盤の関与の仕方も肩関節屈曲と外転で異なるということが予測される。

そこで本研究の目的は、①上肢挙上運動（肩関節屈曲と外転）時の胸椎、腰椎、骨盤運動の関与をキネマティクス的に明らかとすること、②各セグメント間の協調関係を明らかにすることとした。

研究方法

対象：本研究の趣旨に賛同し文書による同意が得られ、肩関節および体幹に外傷や疾患の既往のない健康者（男性 9 名、年齢：22 歳～37 歳、平均 28.4 ± 5.8 歳、右利き）を対象とした。本研究に先立ち昭和大学保健医療学部倫理委員会の承認（承認番号第 368 号）を得た。

運動課題：被験者は実験室座標系（X：左右方向、Y：前後方向、Z：上下方向）の XZ 平面に前

額面を一致させた椅座位をとった。脚長差を考慮し、足底を床に付けて膝関節、股関節が 90° 屈曲位になるように座面の高さを1 cm単位で調節した。座位位置は座面先端が膝窩部に当たらない程度の位置とした。足部は足長軸がY軸と並行になるように配置した。両上肢は両手掌が体側に向く自然下垂位とした。被験者は自然な椅座位で約3秒静止した後、肩関節の両側同時屈曲（屈曲課題）および同時外転（外転課題）を最終可動域まで行った。外転課題では、前腕の回外と肩関節の外旋を被験者の自然なタイミングで行わせた。各課題動作はメトロノームのリズム（90拍/分）に合わせ、全可動域を約2秒で挙上させた。数回の練習を行った後に各課題動作をそれぞれ10試行連続で行った。

測定方法：課題動作の標点計測をVICON社製三次元動作解析装置VICON MXシステム（赤外線カメラ9台）を用いてサンプリング周波数100 Hzで行った。反射マーカー（直径15 mm）貼付位置は①頭頂部、②第1胸椎棘突起（以下、Th1）、③第3胸椎棘起（以下、Th3）、④第6胸椎棘突起（以下、Th6）、⑤第9胸椎棘突起（以下、Th9）、⑥第12胸椎棘突起（以下、Th12）、⑦第3腰椎棘突起（以下、L3）、⑧右上前腸骨棘（以下、右ASIS）、⑨左上前腸骨棘（以下、左ASIS）、⑩右上後腸骨棘（以下、右PSIS）、⑪左上後腸骨棘（以下、左PSIS）、⑫右肩峰、⑬左肩峰、⑭右上腕骨外側上顆（以下、右外上顆）、⑮左上腕骨外側上顆（以下、左外上顆）であった。

図1に矢状面上の角度定義を示す。各マーカーの角度はYZ平面への投影点を用いて求めた。肩関節屈曲角度は、肩峰と外上顆を結ぶ線分がZ軸となす角度とした。肩関節外転角度はXZ平面上で肩峰と外上顆を結ぶ線分がZ軸となす角度とした。胸椎角度と腰椎角度はKabaetseら¹⁹⁾とPalら²⁰⁾の方法を参考に次のように定義した。胸椎角度は、線分Th3-Th6と線分Th12-L3のなす角度、腰椎角度は線分Th12-L3と線分P-A（左右ASISの中点と左右PSISの中点を結ぶ線分）のなす角度、骨盤角度は線分P-AとY軸のなす角度とした。胸椎伸展角度、腰椎伸展角度および骨盤前傾角度はそれぞれの運動時の角度から、それぞれの安静時（運動開始時）の角度を引いた角度とした。屈曲課題、外転課題共に上肢挙上角度は右上肢の角度を解析の対象と

した。課題動作10試行中、全てのマーカーが撮影出来た試行のデータのみを用いて解析を行った。

統計処理：上肢挙上運動に対する胸椎、腰椎、骨盤運動の関与を検討するために、肩関節屈曲角度と外転角度を要因として、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度に関する一要因反復測定分散分析を行い、Greenhouse-Geisserの補正を適用した。さらに、肩関節屈曲と外転への胸椎伸展運動、腰椎伸展運動、骨盤前傾運動の寄与の程度を比較するため、胸椎伸展角度、腰椎伸展角度、骨盤前傾角度の差を、対応のあるt検定を用いて検討した。また、胸椎、腰椎、骨盤、各セグメント間の協調関係を明らかにするために、ピアソンの相関係数を用いて相関分析を行った。

結果

屈曲課題では合計4試行（被験者2人）、外転課題では合計5試行（被験者4人）に欠損値があったため、それらの試行を除外し、屈曲課題86試行、外転課題85試行のデータを使用し、解析を行った。

上肢挙上角度は、屈曲開始角度の平均が $-0.30 \pm 3.9^\circ$ 、最大屈曲角度の平均が $165.9 \pm 12.5^\circ$ 、外転開始角度の平均が $12.9 \pm 2.0^\circ$ 、最大外転角度の平均が $159.6 \pm 5.43^\circ$ であった。全被験者から共通してデータを得ることが出来た範囲は、屈曲課題では $10^\circ \sim 140^\circ$ 、外転課題では $20^\circ \sim 150^\circ$ であったため、この範囲について 5° 間隔で解析した。

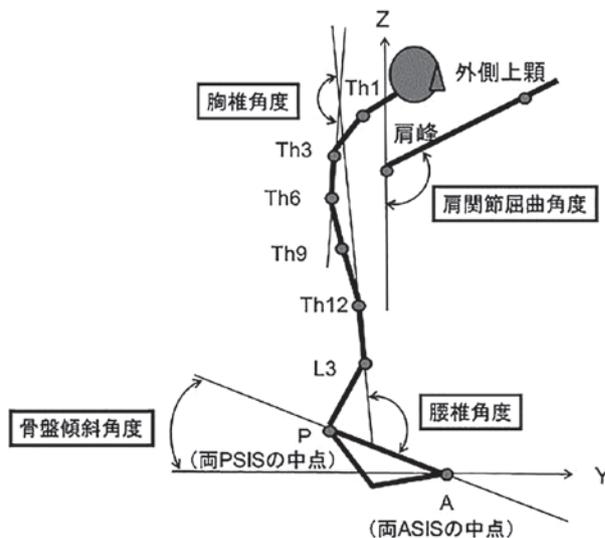


図1 矢状面上の角度定義

1. 肩関節屈曲運動に伴う胸椎、腰椎、および骨盤の矢状面上の運動

図2に肩関節屈曲に伴う胸椎、腰椎、および骨盤の運動の変化を示す。胸椎は肩関節屈曲運動に伴い2次関数的に伸展し（傾向分析：2次， $p < 0.0005$ ）²¹、最終的に約7°伸展していた。分散分析の結果、胸椎伸展角度に肩関節屈曲角度の主効果が認められた（ $F_{1.37/10.9} = 32.4$ ， $p < 0.0005$ ）。胸椎伸展は運動前半ではほとんど生じず、運動の終わりに近づくほど大きくなっていった。腰椎は肩関節屈曲75°までに約3°伸展したが、屈曲80°から140°の間には約2°屈曲し、上方凸の2次関数的変化（傾向分析：2次， $p < 0.0005$ ）を示した。分散分析の結果、腰椎角度に肩関節屈曲角度の主効果が認められた（ $F_{1.34/10.7} = 16.44$ ， $p = 0.001$ ）。骨盤は運動前半にはほとんど動かず、後半にわずかに前傾した。分散分析の結果、骨盤前傾角度に肩関節屈曲角度の主効果が認められ

た（ $F_{1.34/10.7} = 10.53$ ， $p = 0.005$ ）。

2. 肩関節外転運動に伴う胸椎、腰椎、および骨盤の矢状面上の運動

図3に肩関節外転に伴う胸椎、腰椎および骨盤の運動の変化を示す。胸椎は運動開始直後から直線的に約10°伸展した（傾向分析：線形， $p < 0.0005$ ）。分散分析の結果、胸椎伸展角度に肩関節外転角度の主効果が認められた（ $F_{1.74/13.9} = 97.64$ ， $p < 0.0005$ ）。腰椎（ $F_{1.61/12.9} = 3.79$ ， $p = 0.058$ ）と骨盤（ $F_{1.13/9.08} = 0.46$ ， $p = 0.54$ ）には肩外転角度との関係は認められなかった。

肩関節屈曲と外転への胸椎伸展運動の寄与の程度を比較するために、屈曲140°と外転140°における胸椎伸展角度の差を、対応のあるt検定を用いて検討した結果、肩関節屈曲よりも外転の時に胸椎伸展角度が大きく（屈曲平均 $6.8 \pm 3.5^\circ$ ，外転 $9.5 \pm 2.5^\circ$ ）有意差が認められた（ $t_{df=8} = 2.94$ ， $P = 0.019$ ）。

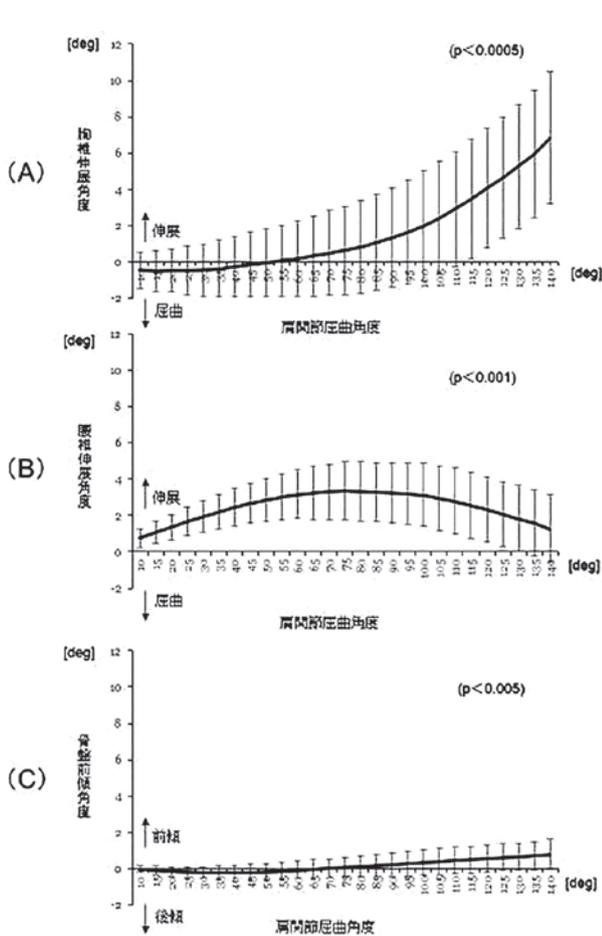


図2 肩関節屈曲運動における胸椎、腰椎、骨盤の運動

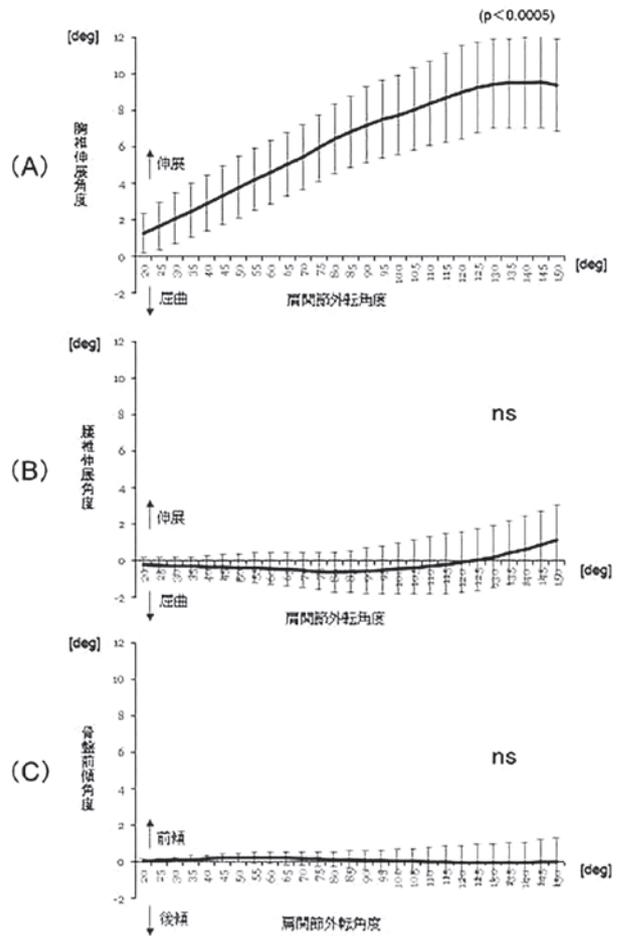


図3 肩関節外転運動における胸椎、腰椎、骨盤の運動

3. 体幹の各セグメント間の関係

1) 肩屈曲運動中の各体幹セグメント間の関係

肩関節屈曲運動中の胸椎、腰椎、骨盤間の相関関係を図4に示す。相関分析の結果、肩関節屈曲運動において、腰椎-骨盤間に弱い負の相関関係 ($r = -0.380$, $p < 0.0005$) が認められ、肩関節屈曲動作中に腰椎が屈曲するとき、骨盤は前傾する傾向を示した。胸椎-腰椎間には中等度の負の相関関係 ($r = -0.618$, $p < 0.0005$) が認められ、肩関節屈曲動作中に胸椎が伸展するとき、腰椎は屈曲する傾向を示した。胸椎-骨盤間にも正の相関関係 ($r = 0.688$, $p < 0.0005$) が認められ、屈曲動作に伴い胸椎が伸展するとき、骨盤は前傾する傾向を示した。

2) 肩外転運動中の各体幹セグメント間の関係

肩関節外転運動中の胸椎、腰椎、骨盤間の相関関係を図5に示す。肩関節外転運動において骨盤-腰椎間に負の相関関係 ($r = -0.463$, $p < 0.0005$) が認められ、肩屈曲の場合と同様に腰椎が屈曲するとき、骨盤は前傾する傾向を示した。胸椎-腰椎間には肩屈曲の場合と同様に、胸椎が伸展するとき、腰椎は屈曲する傾向が認められたが相関は弱かった ($r = -0.306$, $p < 0.0005$)。胸椎-骨盤間にも、肩外転運動中に胸椎が伸展するとき、骨盤は前傾する傾向が認められたが相関は弱かった ($r = 0.218$, $p < 0.0005$)。しかし、図5のBとCには他の点とは顕著にイレギュラーな部分がある(点線で囲まれた部

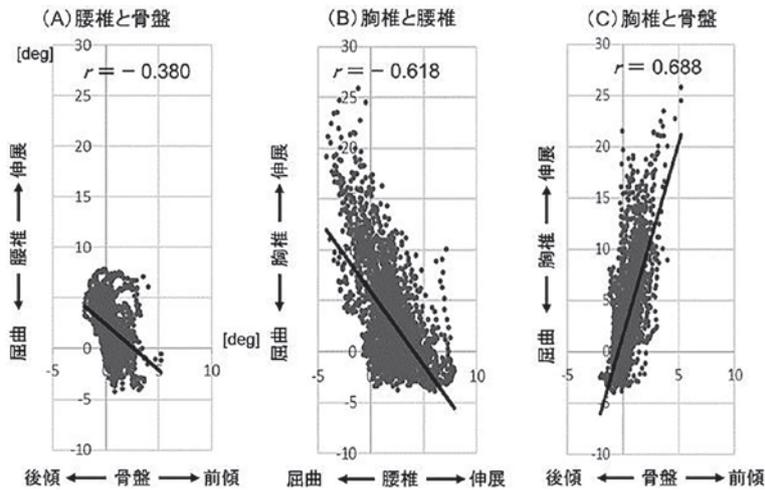


図4 肩関節屈曲運動中の胸椎、腰椎、骨盤運動の相関

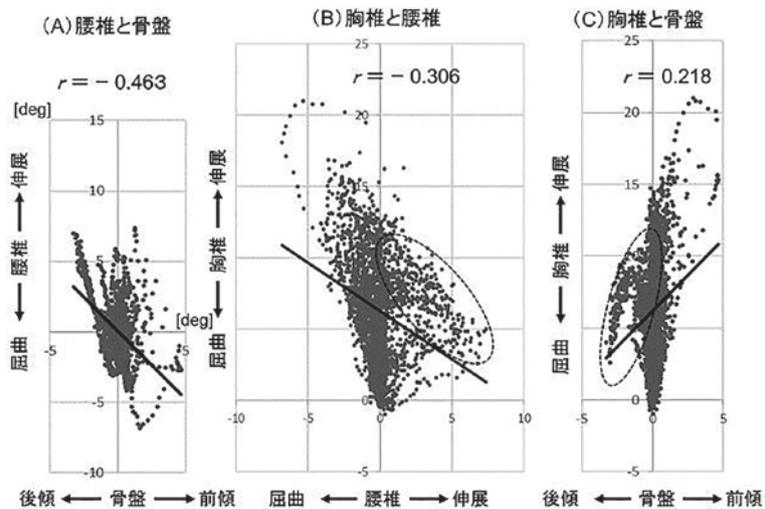


図5 肩関節外転運動中の胸椎、腰椎、骨盤運動の相関

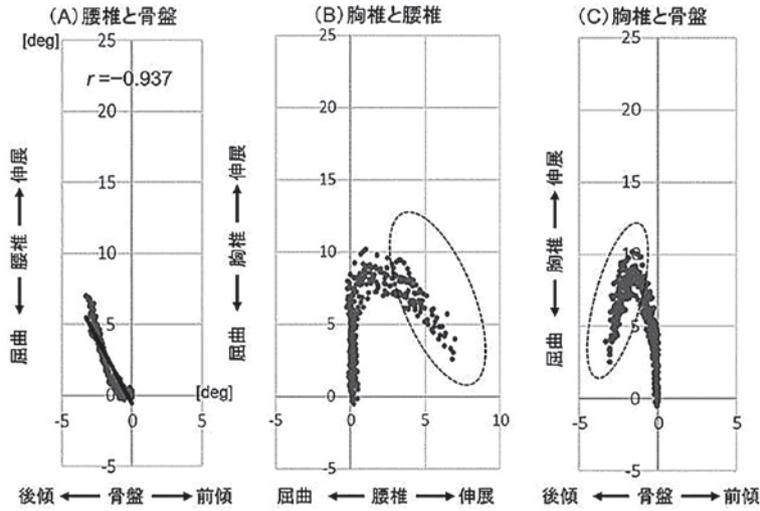


図 6 被験者 S の肩関節外転運動中の胸椎，腰椎，骨盤運動の相関

分). この部分は 1 名の被験者 (S) によって生じたものであったため，この被験者の散布図を図 6，肩関節外転角度に対する胸椎，腰椎および骨盤角度を図 7 に示す. 腰椎-骨盤の関係 (図 6A) は全被験者と類似した関係を示したが，胸椎-腰椎の関係 (図 6B) と胸椎-骨盤の関係 (図 6C) は明らかに曲線関係であった. 図 7 を図 3 と比較すると，他の被験者と異なるこの被験者 S の特徴として，運動の後半に胸椎が屈曲方向に，腰椎が伸展方向に，骨盤が後傾方向に顕著な運動を示している. これらの運動が図 6 に示された各セグメント間の関係と対応していた.

考 察

本研究では，健常成人男性における上肢挙上運動への胸椎，腰椎，および骨盤運動の関与について検討した.

1. 肩関節屈曲運動への各体幹セグメントの寄与

今回の研究結果で，肩関節屈曲運動中に胸椎に伸展運動が生じたことは，先行研究^{12, 15, 16, 21)}の結果とよく一致している. その経時変化は 2 次関数的な増加であり，後半に運動が増大することは Crosbie らの結果と類似のものである. 測定方法の違いがあるものの，その角度変化量も概ね Crosbie ら¹⁵⁾と等しい. 今回の研究結果と前述した三浦ら¹⁸⁾の報告を合わせて考えると，肩甲骨の内転運動と後傾運動が胸椎の伸展運動と関連していると考えられる.

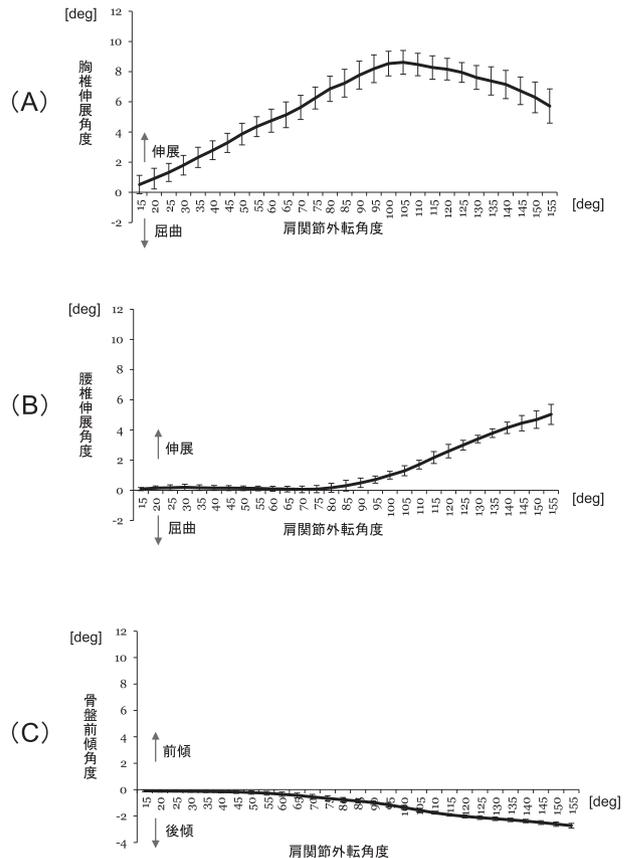


図 7 被験者 S の肩関節外転動作における胸椎，腰椎，骨盤の運動

三浦らの報告によると，肩関節屈曲運動では，肩甲骨は屈曲前半では外転しながら後傾する. 肩甲骨胸郭関節の運動面である胸郭後面は胸椎の伸展運動によ

りその形状を変え、胸椎が伸展して胸郭後面が平坦化すると、肩甲骨は外転が困難になる。そのため、胸椎の伸展運動は屈曲前半では少なく、肩甲骨が内転しながら後傾する屈曲後半で大きくなったと考えられる。

腰椎運動に関する今回の研究結果では、小さな角度ではあるが肩関節屈曲運動の前半で腰椎が伸展し、後半には屈曲して元に戻る逆U字型の変化を示した。腰椎に関する研究は少ないが、肩関節屈曲運動中に腰椎は伸展するという報告¹⁶⁾と、腰椎の運動は認められないという報告²¹⁾がある。いずれも肩関節最大屈曲位での腰椎の状態を観察したものであり、今回の結果では肩関節運動の中間範囲で腰椎最大伸展を生じており、いずれの結果とも一致しない。この違いには、計測方法や角度定義の違いや、運動角度が非常に小さいことによる相対的な誤差の大きさなどが影響していることが考えられる。今回の結果では、同一試行を10回平均して計測しているため偶然誤差が相殺された可能性がある。また、今回観察された逆U字型の変化の後半の運動は、上肢の挙上角度を増大させるためには逆向きの運動であり、目的とする運動に直接的に寄与する運動ではない。この逆U字型の変化は、鈴木ら¹³⁾が指摘しているように、両上肢を前方に挙上するとき生じる上半身重心位置変化を最小にするための代償的運動反応かもしれない。つまり、屈曲90度付近で上肢の重心は前方に最大にシフトするため、これに拮抗して腰椎を進展させて上半身重心を後方にシフトさせようとするのが考えられる。

骨盤運動に関する今回の結果では、肩関節屈曲の後半で僅かに前傾した。骨盤運動に関する先行研究は少ないが、上田ら¹⁶⁾は、150°以上の肩関節屈曲で骨盤前傾運動が生じることを報告している。これに対して、Crosbieら¹⁵⁾、甲斐ら²²⁾は腰椎に矢状面上の運動が認められなかったことを報告しており、今回の結果は上田らの結果を支持するものであった。腰椎運動と同様に骨盤運動は極めて小さな運動範囲であるため、この違いには測定方法の違い（上田はX線写真、Crosbieは磁気式3次元計測）や計測誤差の問題が反映しているかもしれない。今回の結果では肩関節屈曲角度変化に伴う骨盤前傾運動は肩関節屈曲の後半に生じており、これは胸椎の伸展が大きくなり、また、腰椎が伸展から屈曲運動に転

じる時期と一致している。この骨盤前傾運動は、肩関節屈曲と胸椎伸展による上半身重心の後方移動に拮抗して生じると考えられる。両上肢前方挙上に伴う上半身重心位置変化への体幹運動の関与に関する鈴木ら¹³⁾の指摘は体幹全体の運動に関するものであるが、今回の結果では上肢の重心位置変化と対応した体幹運動は腰椎と骨盤に認められた。この問題は、セグメント間の協調の問題としても後述する。

2. 肩関節外転運動への各体幹セグメントの寄与

肩関節外転運動における今回の結果では、外転に伴って胸椎の伸展が直線的に増大し、その大きさは肩関節屈曲時よりも大きかった。胸椎の伸展運動が生じることはCrosbieら¹⁵⁾の結果と一致しているが、運動角度は今回の結果のほうが大きく、また、Crosbieら¹⁵⁾の結果では肩関節外転運動よりも屈曲運動において胸椎伸展角度が大きかった。三浦ら¹⁸⁾によれば、肩関節外転運動で上腕が前額面上の運動を行う場合には、外転90°まで肩甲骨には内転と上方回旋が生じ、90°を過ぎると外転と上方回旋に転じる。肩甲骨胸郭関節は胸郭後面を運動面としているため、肩甲骨の上方回旋には後傾運動が伴う。胸椎が屈曲すると円背傾向となり、胸郭後面上をスライドしながら動く肩甲骨の内転と後傾を困難にするはずである。この肩甲骨の内転運動と後傾運動を可能にするために胸椎は、肩関節外転運動開始直後より直線的に伸展運動が生じていたと考えられる。また、今回の結果では肩関節屈曲運動よりも外転運動において胸椎伸展角度が大きかった。これは、肩関節外転運動では、運動開始直後より肩甲骨は内転しており、運動開始直後より胸椎を伸展させておく必要があるため、肩関節屈曲運動より外転運動で、より多くの胸椎伸展角度が必要になるのではないかと考えられる。

肩関節外転運動に伴う腰椎と骨盤の矢状面上の運動は観察されず、腰椎と骨盤運動の直接的寄与は示されなかった。しかし、肩関節屈曲の場合と同様に、体幹の3つのセグメントが協調的に運動する関係が示されたため、セグメント間の協調として後述する。

3. 上肢挙上運動時の各体幹セグメント間の協調

本研究の結果では、肩関節外転運動において、腰椎運動および骨盤運動の寄与は認められなかった。

しかし、3つのセグメント（胸椎、腰椎、骨盤）間には、関連の強さはさまざまであるが、協調して運動する関係が示された。この関係は屈曲運動と外転運動で類似していた。腰椎と骨盤は、骨盤前傾と共に腰椎屈曲が増大する関係を示した。骨盤が前傾した時、腰椎が屈曲した時、どちらの場合であっても上半身の重心位置は前方に移動するため、運動課題遂行中の上半身重心の調節のために腰椎と骨盤が協働的に機能するものと考えられる。健常者の立位姿勢では、骨盤の前傾に腰椎の伸展を伴わせることによって正常な立位姿勢を保つメカニズム²³⁻²⁶⁾があるが、今回の課題では、腰椎と骨盤の運動の関係が立位とは逆の関係であることに注意を要する。

胸椎と腰椎の関係をみると、胸椎が伸展するときに腰椎が屈曲する関係が認められた。胸椎伸展は上半身重心を後方に移動させるのに対し、腰椎屈曲は上半身重心を前方に移動させる拮抗的な関係にある。また、肩関節屈曲角度（上肢挙上角度）に対しては、胸椎伸展と腰椎屈曲は拮抗的に作用する関係にあるので、胸椎伸展と腰椎屈曲を組み合わせることにより、胸椎伸展によって生じる上半身重心の後方移動を腰椎屈曲によって調整しているものと思われる。

以上のことを総合的に考えると、腰椎運動と骨盤運動は上肢挙上と胸椎伸展によって生じる上半身重心の位置を制御するための背景的な運動と考えることができる。体幹の下位に配置された骨盤と腰椎はこの目的のためには機能的である。

4. 上肢挙上運動における体幹運動の個人差

この研究で取り上げた課題に関連するこれまで行われた研究の多くは、同一条件の課題を被験者に1回から数回試行させ、その平均値によりヒトの運動の一般的特徴を示そうとしたものである。今回の研究では、同一条件の試行数を10回として、一般的特徴だけでなく、個人間のばらつきと、個人内の一貫性の存在を明らかにしようとした結果、一般的特徴のほかに、特異的な運動を示す被験者（被験者S）の存在が示された。被験者Sは、外転課題において他の8人の被験者と顕著な違いを示しており、また、被験者Sの中ではばらつきが小さい一貫性のある結果であった。その理由はこの研究から明らかではないが、臨床場面で、患者一人一人の個別的な問題に対応する必要性を考えると、多数試行による個人

内、個人間のばらつきを含めた研究が必要である。

結 論

上肢挙上動作には胸椎、腰椎、および骨盤の運動がそれぞれ関連しあいながら関与することが確認された。特に胸椎の伸展運動は上肢挙上運動に直接的に寄与するとともに、肩甲骨の運動に必要な運動面（胸郭後面の形状を変える）を形成することに寄与するが、腰椎および骨盤の運動は、上肢挙上に伴う上半身重心位置の変化に対応するための代償的運動であることが示唆された。このことは、肩関節疾患患者の理学療法を行う際、上肢挙上運動に伴う胸椎、腰椎、および骨盤運動の関与を考慮することにより、効率の良い治療が出来る可能性を示している。今回の研究からは上肢挙上運動への胸椎、腰椎、および骨盤の運動に一定のルールがあることが示されると同時に、個人間の多様性が確認され、個人差の研究の必要性が示唆された。

利益相反

本研究には開示すべき利益相反は無い。

文 献

- 1) Codman EA. The shoulder: rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa. Boston: Thomas Todd; 1934.
- 2) Inman VT. Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg.* 1944;26:1-30.
- 3) Itoi E, Morrey BF, An KN. Biomechanics of the shoulder. In: *Rockwood CA, Matsen FA, Wirth MA, eds. The Shoulder. 3rd ed.* Philadelphia: Saunders Inc; 2004. pp223-267.
- 4) 原田 拓, 菅本一臣, 宮本隆司, ほか. Scapulohumeral rhythm に関する新しい知見. *肩関節.* 2000;24:159-162.
- 5) 中村壮大, 勝平純司, 村木孝之, ほか. 若年者と高齢者における肩甲上腕リズムの比較. *理療科.* 2016;31:547-550.
- 6) 岩下 哲, 橋口 宏, 大久保敦, ほか. 透視画像による腱板断裂例における肩甲上腕リズムの検討. *肩関節.* 2015;39:388-391.
- 7) Endo K, Ikata T, Katoh S, *et al.* Radiographic assessment of scapular rotational tilt in chronic shoulder impingement syndrome. *J Orthop Sci.* 2001;6:3-10.
- 8) Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, *et al.* Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and

- without shoulder impingement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29:574-583.
- 9) Ludewig PM, Cook TM, Nawoczenski DA. Three-dimensional scapular orientation and muscle activity at selected positions of humeral elevation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;24:57-65.
 - 10) Calliet R. 筋骨格系の痛み, 肩の痛み. 第2版. 東京: 医歯薬出版; 1988. pp39-41.
 - 11) Kapandji IA. 外転の3相. カパンディ関節の生理学Ⅰ 上肢. 東京: 医歯薬出版; 1986. pp66-69.
 - 12) 塚本芳久. 上肢前方挙上時における脊柱の動きに関する動態学的研究 肩甲骨との関係. リハ医. 1990;27:453-458.
 - 13) 鈴木加奈子, 塩島直路. 両上肢前方挙上動作における肩甲骨と体幹の動きの関係について. 理療科. 2011;26:203-207.
 - 14) Fayad F, Hanneton S, Lefevre-Colau MM, *et al.* The trunk as a part of the kinematic chain for arm elevation in healthy subjects and in patients with frozen shoulder. *Brain Res.* 2008;1191:107-115.
 - 15) Crosbie J, Kilbreath SL, Hollmann L, *et al.* Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion. *Clin Biomech.* 2008;23:184-192.
 - 16) 上田泰之, 浦辺幸夫, 大林弘宗, ほか. 若年者と高齢者における上肢挙上時の体幹アライメントの違い. 体力科学. 2008;57:485-490.
 - 17) 山本敦史, 高岸憲二, 岡邨興一, ほか. 姿勢異常が肩関節痛および腱板断裂に及ぼす影響. 肩関節. 2010;34:471-474.
 - 18) 三浦雄一郎, 森原 徹, 福島秀晃, ほか. 肩関節屈曲と外転における鎖骨・肩甲骨の運動 座標移動分析を用いた検討. 総合リハ. 2008;36:877-884.
 - 19) Kabaetse M, McClure P, Pratt NA. Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80:945-950.
 - 20) Pal P, Milosavljevic S, Sole G, *et al.* Hip and lumbar continuous motion characteristics during flexion and return in young healthy males. *Eur Spine J.* 2007;16:741-747.
 - 21) 山内光哉. 傾向分析. 心理・教育のための分散分析と多重比較. 東京: サイエンス社; 2008. pp255-267.
 - 22) 甲斐義浩, 村田 伸, 堀江 淳. 上肢挙上角と脊柱彎曲角との関係 健常成人における検討. 理療科. 2010;25:19-22.
 - 23) Kapandji IA. 腹壁の筋群: 腰椎彎曲の平坦化. カパンディ関節の生理学Ⅲ 体幹・脊柱. 東京: 医歯薬出版; 1986. pp100-101.
 - 24) Kapandji IA. 膨張構造としての体幹. カパンディ関節の生理学Ⅲ 体幹・脊柱. 東京: 医歯薬出版; 1986. pp102-103.
 - 25) Kapandji IA. 安静立位での脊柱. カパンディ関節の生理学Ⅲ 体幹・脊柱. 東京: 医歯薬出版; 1986. pp104-105.
 - 26) Kapandji IA. 坐位と臥位での脊柱. カパンディ関節の生理学Ⅲ 体幹・脊柱. 東京: 医歯薬出版; 1986. pp106-107.

COOPERATIVE THORACIC, LUMBAR, AND PELVIC MOVEMENTS
DURING ARM ELEVATION IN NORMAL ADULTS

Shinichi CHIBA

Showa University Faculty of Health and Medical Sciences Graduate School of Health Sciences

Noboru SEKIYA and Tetsuo MIYAGAWA

Showa University Faculty of Health Sciences Department of Physical Therapy

Abstract — The purpose of this study was to clarify the contribution of thoracic, lumbar, and pelvic movement to arm elevation and the cooperative relationship between each segment. Nine healthy adult male subjects (28 ± 5.4 years old) attended this investigation. They performed bilateral shoulder flexion and abduction while seated. Humeral, thoracic, lumbar, and pelvic kinematics were measured with a three-dimensional motion analysis system. In shoulder flexion, the thoracic extension angle increased quadratically against the shoulder flexion angle, with larger thoracic extension in the last half. In the shoulder abduction, thoracic extension increased with shoulder abduction linearly. Slight lumbar and pelvic movement was observed during shoulder flexion, with no such motion during shoulder abduction. However, low to moderate correlations between thoracic, lumbar, and pelvic movements were observed both in shoulder flexion and abduction. These results suggest that thoracic extension contributes directly to shoulder flexion, and indirectly to shoulder flexion and abduction through adjusting the shape of the thoracic articular surface of the scapulo-thoracic joint. In contrast, lumbar and pelvic movements are thought to counteract the antero-posterior sway of center of gravity (COG) of the upper body due to arm elevation and thoracic extension.

Key words: shoulder elevation, vertebral motion, thoracic extension, lumbar extension, pelvic anteversion

〔受付：11月26日, 受理：12月11日, 2018〕