

修 士 学 位 論 文

論 文 題 名

(注：学位論文題名が英語の場合は和訳をつけること。)

MRI を用いた上肢挙上時の
肩甲骨・胸椎椎間関節の関節運動学的解析

(西暦) 2017 年 1 月 5 日 提出

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻

理学療法科学域

学修番号： 15895606

氏 名： 須永 遼司

(指導教員名： 竹井 仁 教授)

(西暦) 2016 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名 (注: 学位論文題名が英語の場合は和訳をつけること)

MRI を用いた上肢挙上時の肩甲骨・胸椎椎間関節の関節運動学的解析

学位の種類: 修士 (理学療法 学)

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 理学療法科 学域

学修番号 15895606

氏 名: 須永 遼司

(指導教員名: 竹井 仁 教授)

注: 1 ページあたり 1,000 字程度 (英語の場合 300 ワード程度) で、本様式 1~2 ページ (A4 版) 程度とする。

【目的】

背臥位、両上肢挙上運動での胸椎椎間関節の各分節における矢状面の可動域変化とその特徴、ならびに肩甲骨・胸椎椎間関節の関係性を明らかにすることを目的とした。

【方法】

対象は脊柱と上肢に整形外科疾患の既往のない 20-38 歳の健常成人男女 22 名 (男性 12 名, 女性 10 名) とし、先行研究を踏まえて、磁気共鳴画像 (MRI) での矢状面撮像において胸椎後彎角が 19-24 歳では 11.2° 以下あるいは 31.6° 以上, 26-38 歳では 14.8° 以下あるいは 38.0° 以上の者は除外した。課題は、背臥位での両側肩関節屈曲運動として、測定角度は $0^{\circ}, 60^{\circ}, 120^{\circ}, 150^{\circ}$, 最大屈曲の 5 条件とした。各条件における各胸椎椎間関節角度 ($\angle \text{Th1}-\angle \text{Th12}$) と肩甲骨上方回旋角を MRI を用いて解析し、条件間での胸椎椎間関節角度の比較および肩甲骨上方回旋と胸椎伸展の相関を調べた。

【結果】

肩関節屈曲角度 $0^{\circ}-120^{\circ}$ では $\angle \text{Th4}$ が伸展し、 120° からは Th11 が、 150° からは $\angle \text{Th12}$ が伸展した。 $120^{\circ}-150^{\circ}$ 間では、肩甲骨上方回旋と $\angle \text{Th11}, \angle \text{Th12}$ において負の相関がみられ、 150° -最大屈曲間では、肩甲骨上方回旋と $\angle \text{Th12}$ において正の相関がみられた。

【考察】

肩甲骨上方回旋と $\angle \text{Th4}$ の伸展運動の間には相関関係はなく、先行研究では肩関節屈曲角度 $0^{\circ}-120^{\circ}$ において肩甲骨後傾と胸椎伸展運動の間に相関があると報告されているため、上方回旋ではなく肩甲骨後傾を補助するために $\angle \text{Th4}$ の伸展運動が生じたと考えた。

$\angle \text{Th11}-\angle \text{Th12}$ は、解剖学的構造により胸椎の中では可動性の高い分節であり、また、肩関節屈曲角度が増大するにつれて広背筋が伸長されることによる骨盤前傾に伴う腰椎伸展と第 11-第 12 肋骨の後方回旋が生じることから伸展運動が生じたと考えた。さらに、 $\angle \text{Th1}-\angle \text{Th9}$ は固定されることで前鋸筋の筋長を適切な長さに保ち、安定した収縮を生じさせて肩甲骨上方回旋を促すことに貢献するため、伸展運動が生じなかったと考えた。

肩関節屈曲角度が増大すると、肩甲骨の上方回旋も矢状面での運動に近くなるため、上方回旋は胸椎椎間関節の伸展運動方向に近づく。そのため肩関節屈曲角度 $120^{\circ}-150^{\circ}$ 間では、 $\angle \text{Th11}, \angle \text{Th12}$ の伸展運動が増大するとそれに伴い上方回旋角も増大するため、負の相関を示したと考えた。

また、肩関節屈曲最終域では、 $\angle \text{Th12}$ の伸展運動が減少すると肩甲骨関節窩の上方回旋角で代償する、もしくは肩甲骨関節窩の上方回旋角が減少すると $\angle \text{Th12}$ の伸展運動により代償する、すなわち、肩甲骨上方回旋と胸椎の伸展運動は互いに補償し合う関係にあることが示唆された。

要旨

【目的】背臥位、両上肢挙上運動での胸椎椎間関節の各分節での可動域変化とその特徴、ならびに胸椎椎間関節・肩甲骨の関係性を明らかにすることを目的とした。【方法】対象は健康成人男女 22 名(男性 12 名,女性 10 名)、課題は肩関節屈曲角度 0° , 60° , 120° , 150° , 最大屈曲の 5 条件とした。各条件における各胸椎椎間関節角度($\angle Th1$ ・ $\angle Th12$)と肩甲骨上方回旋角を磁気共鳴画像(MRI)を用いて解析し、条件間での胸椎椎間関節角度の比較および肩甲骨上方回旋と胸椎伸展の相関を調べた。【結果】肩関節屈曲角度 0° ・ 120° では $\angle Th4$ が伸展し、 120° からは $\angle Th11$ が、 150° からは $\angle Th12$ が伸展した。 120° ・ 150° 間では、肩甲骨上方回旋と $\angle Th11$ ・ $\angle Th12$ において負の相関がみられ、 150° ・最大屈曲間では、肩甲骨上方回旋と $\angle Th12$ において正の相関がみられた。【結論】 0° ・ 120° は $\angle Th4$ が伸展し、 120° 以降では $\angle Th11$ ・ $\angle Th12$ が伸展することで、肩関節屈曲運動に貢献する。また、肩甲骨上方回旋と胸椎の伸展運動は互いに補償し合う関係にあることが示唆された。

キーワード

肩関節挙上、胸椎伸展、肩甲骨上方回旋、MRI

はじめに

上肢挙上運動のメカニズムは、Inman VT ら¹⁾による上腕骨挙上運動と肩甲骨上方回旋の割合が約 2:1 であったという報告や、また竹井ら²⁾は、肩関節屈曲角度 0° ・ 170° での肩甲骨上方回旋は約 2.1:1 であるが、 0° ・ 90° は約 2.7:1、 90° ・ 120° は約 1.6:1、 120° ・ 150° は約 1.6:1、 150° ・ 170° は約 1.4:1 であったと報告するなど、上腕骨と肩甲骨との関係を中心に多くの研究がなされている。

また、肩甲骨と胸郭との間の肩甲骨胸郭間連結は筋連結による機能的関節をなし、それによって肩甲骨の安定性と可動性は胸郭と密接に関係している。そのため、胸郭と連結する脊柱についても肩関節に影響を及ぼすとして運動分析が行われており、上肢挙上運動に付随する脊柱の運動についても多くの文献に記載されている。

Kapandji³⁾は、肩関節屈曲運動では脊柱の運動が必要不可欠であるとして、終末相での脊柱の運動によって屈曲運動が完成すると述べている。また、甲斐ら⁴⁾は、肩関節屈曲角度 120° を超えると肩甲骨主体の動きに胸椎伸展運動が連動して作用し、 150° より腰椎前弯角の増大が起こると報告し、Crosbie ら⁵⁾は、両側肩関節屈曲運動において上位胸椎よりも下位胸椎の伸展角度が大きいと報告している。さらに、先行研究⁶⁾⁷⁾では胸椎の運動制限は上肢の挙上制限と関係していると述べられており、臨床の場面においても、胸椎椎間関節にアプローチすることで上肢運動に変化が生じる事例を多く経験する。

このように上肢挙上運動は上腕骨や肩甲骨の運動のみで成り立つのではなく、同時に脊柱の運動が関与している。しかし、上肢挙上運動に伴う胸椎の運動の研究では、スパイナルマウスや体表面に貼付したマーカーの軌跡を測定する方法⁴⁾⁸⁻¹²⁾で実施されているため、胸椎全体あるいは胸椎を上下部に分けてしか計測が行われていない。徒手理学療法分野では、胸椎可動性評価は各分節で行われるため、胸椎のどの分節の運動が上肢挙上運動に貢献しているかを明確にすることは非常に重要となる。さらに、金子ら¹³⁾は、両側肩関節屈曲運動において、高齢群と若年群と比較すると、高齢群では胸椎伸展角度が小さく肩甲骨上方回

旋角の割合は高いと報告するなど、上肢挙上運動において肩甲骨と脊柱の運動が互いに影響を及ぼしている可能性を示唆する先行研究は多数みられるものの、その関係は明らかにされていない。

よって、これらを明確にすることで上肢挙上運動時に胸椎のどの分節が貢献しているか、また肩甲骨と脊柱の運動の関係性についての指標の一助とすることができると考える。

そこで、本研究の目的は、健常成人における背臥位、両上肢挙上運動での肩甲骨、胸椎椎間関節の関節運動学的解析を行い、胸椎椎間関節の各分節における矢状面の可動域変化とその特徴、ならびに両上肢挙上運動時の肩甲骨・胸椎椎間関節の関係性を明らかにすることとした。なお、測定機器については、X線装置のような被曝による人体への影響がなく、精度の高いMRI(Magnetic Resonance Imaging:磁気共鳴画像)を用いた。

対象および方法

1. 対象

対象は、脊柱と上肢に整形外科疾患の既往のない20-38歳の健常成人男女22名(男性12名、女性10名)で、平均年齢は25.8歳(22-32歳)、身長と体重の平均値(標準偏差)はそれぞれ166.0(8.6)cm、58.1(8.1)kgであった。また、背臥位における胸椎後弯角の平均値(標準偏差)は、Hirabayashiら¹³⁾の研究より19-24歳で21.4(5.1)°、伊藤¹⁴⁾の研究より26-38歳で26.4(5.8)°であるため、MRIでの矢状面撮像において胸椎後弯角が19-24歳では11.2°以下あるいは31.6°以上、26-38歳では14.8°以下あるいは38.0°以上の者は除外した。

2. 実験条件

測定課題は、背臥位にて、矢状面での両側肩関節屈曲運動として、測定角度は、0°,60°,120°,150°,最大屈曲の5条件とした(図1)。60°,120°,150°の条件はゴニオメーターを用いて測定角度を設定した。また、0°以外の条件では自動運動にて各条件の肢位になり、その肢位をタオルやクッションを使用して他動的に保持して測定した。測定時は、MRI撮像時の禁忌事項である生体でのループ形成を防ぐ目的で、被験者の両手に布製の手袋を装着させた。また、肘が外側に開かないようにタオルやマジックテープ付きの非伸縮性のバンドで固定した(図2)。

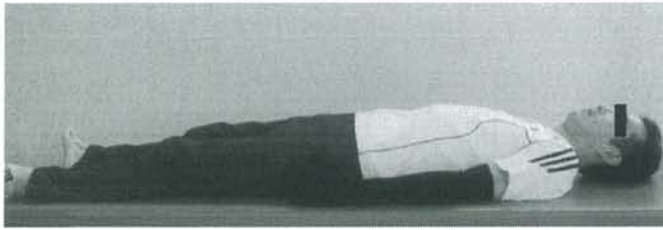


図1 測定肢位の例(肩関節屈曲角度 0°と 60°)



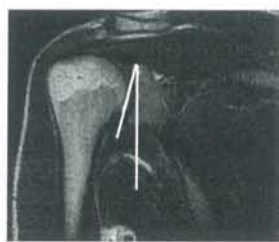
図2 マジックテープ付きの非伸縮性のバンド

3. MRI 撮像

MRI 撮像には臨床用 MR 装置(Philips Electronics Japan, Achieva3.0T)を用いた。MRI 信号の受信には Body Coil を用い、胸椎部は T2 強調(撮像視野 480mm, 繰り返し時間 572msec, エコー時間 3.3msec, スライス厚 1mm, スライス間隔 0.1mm, スキャン時間 4 分 8 秒)のシーケンス、肩甲骨部は T2 強調(撮像視野 200mm, 繰り返し時間 5020msec, エコー時間 100msec, スライス厚 2.5mm, スライス間隔 0.8mm, スキャン時間 4 分 31 秒)のシーケンスにより、各条件につき胸椎部は 50 スライス、肩甲骨部は 20 スライスの矢状断像を撮像した。各撮像後には体動による画像の乱れがないことを確認した。また、撮像中は、被験者が非常用連絡ボタンを押すことで不測の事態に対応できるようにした。

4. 解析項目

画像解析には、画像解析ソフト OsiriX(ニュートングラフィックス社製)を用いた。計測項目は、肩甲骨の上方回旋角と第 1-12 胸椎椎間関節角度(以下、それぞれ $\angle Th1$, $\angle Th2$, $\angle Th3$, $\angle Th4$, $\angle Th5$, $\angle Th6$, $\angle Th7$, $\angle Th8$, $\angle Th9$, $\angle Th10$, $\angle Th11$, $\angle Th12$)とした。肩甲骨の上方回旋角は肩甲骨関節窩の傾斜角度として計測し(図 2)、第 1-12 胸椎椎間関節角度は上位椎体の上面の下位椎体の上面に対する相対的傾斜角として計測した(図 3: $\angle Th1$, $\angle Th2$, $\angle Th3$, $\angle Th10$, $\angle Th11$, $\angle Th12$ を図示)。



a. 肩関節屈曲角度 0°



b. 60°



c. 120°



d. 150°



e. 最大屈曲

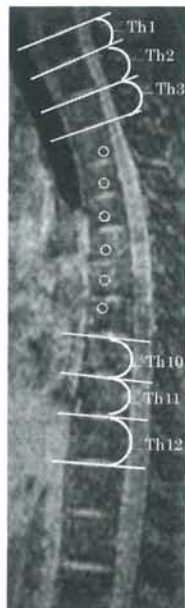
図2 肩甲骨関節窩の上方回旋角



a. 肩関節屈曲角度 0°



b. 60°



c. 120°



d. 150°



e. 最大屈曲

図3 第1-12胸椎椎間関節角度

5. 統計処理

椎間関節角度について、肩関節屈曲角度による違いを比較するため、胸椎椎間関節角度を従属変数とし、屈曲角度5水準(0°, 60°, 120°, 150°, 最大屈曲)と胸椎椎体番号12水準($\angle Th1$, $\angle Th2$, $\angle Th3$, $\angle Th4$, $\angle Th5$, $\angle Th6$, $\angle Th7$, $\angle Th8$, $\angle Th9$, $\angle Th10$, $\angle Th11$, $\angle Th12$)を2要因とした反復測定による二元配置分散分析を行い、主効果が認められた要因に関して、Bonferroniの多重比較法を実施した。交互作用が見られた場合は単純主効果の検定を行い、

各胸椎椎体番号毎に肩関節屈曲角度と変化の関係を分析した。

さらに、肩甲骨と胸椎の運動の関係性について、肩甲骨関節窩の上方回旋角における各肩関節屈曲角度間での変化量(0° - 60° , 60° - 120° , 120° - 150° , 150° -最大屈曲)と、 $\angle\text{Th1}$ - $\angle\text{Th12}$ の椎間関節角度における各肩関節屈曲間での変化量(0° - 60° , 60° - 120° , 120° - 150° , 150° -最大屈曲)の相関を Pearson の相関係数を用いて分析した。

なお、全ての検定で IBM SPSS Statistics version 23 を使用し、有意水準は 5%とした。

6. 説明と同意ならびに倫理的配慮

各被験者に本研究の趣旨と目的および MRI 撮像についての説明を十分に行い、書面にて研究への参加の同意を得た。なお本研究は、首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理審査委員会の承認(受理番号 16007)を受けて実施した。

結果

1. 椎間関節角度

各椎間関節角度($\angle\text{Th1}$ - $\angle\text{Th12}$)を表 1 に示す。反復測定による分散分析の結果、実験条件(肩関節屈曲角度)において主効果が有意であり、また交互作用も有意であった。そのため、すべての実験条件の組み合わせについて単純主効果の分析と多重比較検定(Bonferroni 法)を実施した。

その結果、 $\angle\text{Th4}$ の分節では、肩関節屈曲角度 0° よりも 60° , 120° , 150° , 最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加と、肩関節屈曲角度 60° よりも 120° , 150° , 最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加を示した($p < 0.05$)。また、 $\angle\text{Th11}$ の分節では、肩関節屈曲角度 0° よりも 120° , 150° , 最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加、肩関節屈曲角度 60° , 120° よりも 150° , 最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加、肩関節屈曲角度 150° よりも最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加を示した($p < 0.05$)。さらに、 $\angle\text{Th12}$ の分節では、肩関節屈曲角度 0° , 60° , 120° よりも 150° , 最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加、肩関節屈曲角度 150° よりも最大屈曲で有意な椎間関節伸展角度の増加を示した($p < 0.05$)。

2. 肩甲骨と胸椎の運動の関係

相関分析の結果、肩関節屈曲角度 120° - 150° 間では、肩甲骨関節窩の上方回旋角と $\angle\text{Th11}$, $\angle\text{Th12}$ の椎間関節角度の変化量において有意な相関関係がみられ(表 2)、 150° -最大屈曲間では、肩甲骨関節窩の上方回旋角と $\angle\text{Th12}$ の椎間関節角度の変化量において有意な相関関係がみられた(表 3)。また、肩関節屈曲角度 120° - 150° 間での相関係数は、 $\angle\text{Th11}$ では $r = -0.491$ ($p < 0.05$)、 $\angle\text{Th12}$ では $r = -0.705$ ($p < 0.05$)と負の相関を示し、 150° -最大屈曲間での相関係数は $\angle\text{Th12}$ において $r = 0.428$ ($p < 0.05$)と正の相関を示した。これら以外の肩関節屈曲角度間と分節においては、有意な相関関係はみられなかった。

表 1 椎間関節角度[°]の平均値(標準偏差)の比較

	0°	60°	120°	150°	最大屈曲	多重比較
∠Th1	1.9(2.5)	1.8(2.6)	1.7(3.0)	1.0(2.6)	1.2(2.2)	n.s.
∠Th2	3.7(2.9)	4.2(2.9)	3.3(2.0)	3.2(1.8)	3.2(1.7)	n.s.
∠Th3	4.6(2.3)	4.7(1.8)	4.0(1.4)	3.9(1.2)	3.6(1.4)	n.s.
∠Th4	5.7(2.6)	4.5(2.2)	3.8(1.9)	3.4(1.5)	3.1(1.6)	0°<60°,120°,150°,最大屈曲 60°<120°,150°,最大屈曲
∠Th5	3.9(2.7)	3.9(2.2)	3.4(2.2)	3.4(2.1)	3.2(1.9)	n.s.
∠Th6	4.3(2.8)	4.0(2.4)	3.5(2.0)	3.9(2.1)	3.6(2.2)	n.s.
∠Th7	2.1(1.6)	1.8(1.3)	1.7(1.4)	2.0(1.5)	2.1(1.5)	n.s.
∠Th8	1.2(2.3)	0.7(1.9)	0.9(2.2)	0.7(1.8)	0.9(2.0)	n.s.
∠Th9	-0.7(3.2)	-0.8(2.9)	-0.6(2.7)	-0.5(2.4)	-0.5(2.2)	n.s.
∠Th10	0.9(2.1)	0.6(1.8)	0.6(1.6)	0.8(2.2)	0.5(2.0)	n.s.
∠Th11	1.7(1.8)	1.4(1.5)	1.1(1.5)	0.2(1.4)	-0.4(1.2)	0°<120°,150°,最大屈曲 60°,120°<150°,最大屈曲 150°<最大屈曲
∠Th12	2.5(2.5)	2.4(2.8)	1.8(2.6)	0.8(2.5)	-0.3(2.0)	0°,60°,120°<150°,最大屈曲 150°<最大屈曲

多重比較：Bonferroni 法での多重比較検定にて、分節毎に各屈曲角度の椎間関節角度を比較した結果。n.s.：各屈曲角度の比較でいずれも $p<0.05$ 。

表 2 肩関節屈曲角度 120°-150°間の相関係数

各胸椎椎間関節角度												
	∠Th1	∠Th2	∠Th3	∠Th4	∠Th5	∠Th6	∠Th7	∠Th8	∠Th9	∠Th10	∠Th11	∠Th12
肩甲骨関節窩の 上方回旋角	0.281	-0.02	-0.017	-0.228	0.219	0.026	0.321	-0.052	-0.09	0.049	-0.486*	-0.705*

* $p<0.05$

表 3 肩関節屈曲角度 150°-最大屈曲間の相関係数

各胸椎椎間関節角度												
	∠Th1	∠Th2	∠Th3	∠Th4	∠Th5	∠Th6	∠Th7	∠Th8	∠Th9	∠Th10	∠Th11	∠Th12
肩甲骨関節窩の 上方回旋角	0.084	0.069	0.251	0.074	-0.279	0.072	-0.111	-0.16	-0.102	0.412	0.222	0.428*

* $p<0.05$

考察

1. 椎間関節角度について

本研究の結果より、20・38歳の健常成人における背臥位での両側肩関節屈曲運動では、 $\angle Th4$ 、 $\angle Th11$ 、 $\angle Th12$ が伸展することが確認できた。さらに、 $\angle Th4$ 、 $\angle Th11$ 、 $\angle Th12$ における各実験条件(肩関節屈曲角度)をみると、 $\angle Th4$ では肩関節屈曲角度 0° から 120° において伸展し、 $\angle Th11$ は肩関節屈曲角度 120° 以上の条件で伸展が生じ、 $\angle Th12$ に関しては 150° 以上の条件で伸展が生じることが分かった。

以上の結果から、背臥位での両側肩関節屈曲運動では、肩関節屈曲角度の変化に伴い肩関節屈曲角度 0° から 120° までは $\angle Th4$ の伸展運動が生じ、 120° からは $\angle Th11$ 、 150° からは $\angle Th12$ の伸展運動が生じることが示唆された。

先行研究¹⁵⁾において、背臥位における両上肢挙上運動での肋骨の後方回旋の変化を調べた結果、挙上 120° までで最も変化したのは第5肋骨であったと報告している。第5肋骨はTh4・Th5間、すなわち $\angle Th4$ に付着しているため、本研究の肩関節屈曲角度 0° から 120° における $\angle Th4$ の伸展運動は類似した結果となった。

本研究では、肩関節屈曲角度 0° から 120° における $\angle Th4$ の伸展運動と肩甲骨関節窩の上方回旋角の間には相関関係がなかったため、 $\angle Th4$ の伸展運動は肩甲骨の上方回旋以外の運動と関連している可能性があると考えた。健常者では、上肢挙上運動に伴い、肩甲骨は後傾すると報告されている¹⁶⁾。鶴岡ら¹⁷⁾は、健常者における肩関節屈曲運動で、肩関節屈曲角度 0° ・ 120° において肩甲骨後傾と胸椎伸展運動の間に相関があると報告している。また、肩甲骨は胸郭上の第2肋骨から第7肋骨の間にあるため¹⁸⁾、本研究の結果と先行研究を合わせると、 $\angle Th4$ が伸展することで肋骨を介して肩甲骨上部が後退し、肩甲骨後傾の補助を行っていると考えた。

次に、 $\angle Th11$ と $\angle Th12$ の伸展運動について述べていく。これらの結果の要因は、胸郭、脊柱の解剖学的構造と脊柱、胸郭、肩甲骨、上腕骨に付着する筋の伸長や作用によるものと考えた。

まず、胸郭、脊柱の解剖学的構造について述べていく。Whiteによると¹⁹⁾、胸椎各分節の屈曲・伸展可動域は、上部胸椎(Th1・Th5)は約 4° 、中部胸椎(Th6・Th10)は約 6° 、下部胸椎(Th11・Th12)は約 12° であり、胸椎の中では下部胸椎(Th11・Th12)が最も大きい可動性を有している。これは、上中部胸椎と下部胸椎の異なる解剖学的構造に起因する。胸郭は胸椎の椎体と横突起のそれぞれと肋骨の後端により、肋骨頭関節と肋横突関節を形成することで強固な安定性をもたらしている²⁰⁾。しかし、Th1・Th10の椎体には上肋骨窩と下肋骨窩があり(Th10は上肋骨窩のみ有す)、隣接する椎骨の上下が合して1本の肋骨と関節を形成するが、Th11・Th12は同じ番号の肋骨とのみ関節を形成する²¹⁾。また、Th11・Th12は横突起に横突肋骨窩も有しておらず、肋横突関節は形成していない²¹⁾。さらに、第1・第6肋骨は胸郭の前方で胸骨と関節を形成し、第7・第10肋骨においては肋軟骨で1つにまとまり胸骨体に付着するが、第11・第12肋骨は浮遊肋であるため前方では連結していない²²⁾。したがって、Th11・Th12は他の分節と比較して肋骨や胸骨によって制限されることが非常に少ない。

また、Th11・Th12は腰椎への移行部であり、腰椎の特徴も有している³⁾²³⁾。脊椎伸展の際には、上下の棘突起が接近して、棘突起間の棘間靭帯を圧迫することで伸展を制限する²⁰⁾。胸椎の棘突起は、長く互いに重なり合っていて下後方に傾斜しているため、伸展は非常に制

限されるが、一方腰椎の棘突起は短くほぼ水平であるため大きな伸展運動が可能となる²⁰⁾。Th11-Th12 もまた腰椎と同様に棘突起が短くほぼ水平であるため¹⁸⁾²³⁾、他の分節と比較して棘突起による制限が少ない。

さらに、Th12 に関しては、下関節突起の形状が腰椎と同一の形状をしているため³⁾²⁰⁾²³⁾、腰椎の関節構成単位と同様の運動が行われる。胸椎の関節突起関節面は後上方を向いているため、伸展時には関節面の圧縮応力を高めることで伸展可動域を制限する²⁴⁾が、腰椎の関節突起関節面は水平面に対して垂直であるため²¹⁾、関節面で制限されることは少ない。このように、上述した胸郭、脊柱の解剖学的構造により、Th11-Th12 は他の分節と比較して伸展運動が生じやすい分節であるため、肩関節屈曲運動に伴い有意に伸展した一つの要因となったと考えた。

次に、脊柱、胸郭、肩甲骨、上腕骨に付着する筋の伸長や作用について述べる。まず一つ目は、広背筋の伸長による要因である。広背筋は、Th7-L5 棘突起、正中仙骨稜、腸骨稜、肩甲骨下角そして第 10-第 12 肋骨から起始して、上腕骨結節間溝の底に停止する²⁵⁾。筋の付着部より、肩関節屈曲角度が増大して広背筋が伸長されると、骨盤の前傾が生じる。そのため、骨盤前傾に伴い腰椎の伸展も生じ、それが頭側に波及することで Th11-Th12 が伸展したと考えた。また、広背筋は第 10-第 12 肋骨にも付着しているため、肩関節屈曲角度が大きくなると第 10-12 肋骨の後方回旋が生じる。上述したように第 10 肋骨は胸骨と肋横突関節で固定されているため、主に第 11-第 12 肋骨が後方回旋することで、それに伴い Th11-Th12 の伸展を促したと考えた。

二つ目は、前鋸筋の作用による要因である。前鋸筋は、肩関節屈曲運動時の肩甲骨上方回旋に作用する筋であり、第 1-第 9 肋骨から起始して肩甲骨内側縁に停止している²⁵⁾。また、肩甲骨と胸郭との間で形成される肩甲胸郭間連結は筋連結による機能的関節をなしており、その安定性と可動性は肩甲骨と胸郭に起始停止部を持つ筋に依存している。柿崎ら²⁶⁾は、肋椎関節の柔軟性が高いほど固定力が弱いため、肋骨に付着する筋群の安定した収縮が生じづらいと述べている。この見解を本研究で置き換えると、前鋸筋の安定した収縮による肩甲骨上方回旋を促すためには、第 1-第 9 肋骨と連結する $\angle\text{Th1}-\angle\text{Th9}$ の固定が必要であったため、 $\angle\text{Th1}-\angle\text{Th9}$ において肩関節屈曲運動に伴う角度変化が生じなかったと考えた。

以上の内容をまとめると、肩関節屈曲角度 $0^{\circ}-120^{\circ}$ では、肩甲骨後傾を補助するために $\angle\text{Th4}$ の伸展運動が生じ、肩関節屈曲角度 120° 以降においては、Th11 が 120° から、Th12 は 150° から伸展運動が生じた。 $\angle\text{Th1}-\angle\text{Th10}$ の伸展運動が生じなかった理由としては、 $\angle\text{Th1}-\angle\text{Th10}$ は肋骨や胸骨による制限が大きいこと、また $\angle\text{Th1}-\angle\text{Th9}$ においては固定されることで前鋸筋の筋長を適切な長さに保ち、安定した収縮を生じさせて肩甲骨上方回旋を促すことに貢献するためと考えた。さらに、 $\angle\text{Th11}-\angle\text{Th12}$ が解剖学的構造により胸椎の中では可動性の高い分節であることと、肩関節屈曲角度が増大するにつれて広背筋が伸長され、骨盤前傾に伴う腰椎伸展と第 11-第 12 肋骨の後方回旋が生じることから $\angle\text{Th11}-\angle\text{Th12}$ の伸展運動が生じ、肩関節屈曲運動を補助したと考えた。

2. 肩甲骨と胸椎の運動の関係

肩関節屈曲角度 $120^{\circ}-150^{\circ}$ 間では、肩甲骨関節窩の上方回旋角と $\angle\text{Th11}$, $\angle\text{Th12}$ の椎間関節角度が負の相関を示したため、言い換えると $\angle\text{Th11}$, $\angle\text{Th12}$ の伸展運動が増大すると

それに伴い肩甲骨関節窩の上方回旋角も増大する、もしくは肩甲骨関節窩の上方回旋角が増大するとそれに伴い $\angle\text{Th11}$, $\angle\text{Th12}$ の伸展運動も増大するという結果となった。

健常者では上肢挙上に伴い、肩甲骨外転が生じる¹⁶⁾。また、肩甲骨外転は弯曲した胸郭に沿って行われる運動である。そのため、肩甲骨外転が増大することで肩甲骨面が矢状面へと近づく。すなわち、肩甲骨関節窩の向きもより前方を向くこととなり、肩甲骨の上方回旋も矢状面での運動に近くなる。よって、肩甲骨の上方回旋は胸椎椎間関節の伸展運動方向に近づき、 $\angle\text{Th11}$, $\angle\text{Th12}$ の伸展運動が増大するとそれに伴い肩甲骨関節窩が頭側に向いて上方回旋角も増大するため、負の相関を示したと考えた。

また150°-最大屈曲間においては、肩甲骨関節窩の上方回旋角と $\angle\text{Th12}$ の椎間関節角度が正の相関を示したため、言い換えると $\angle\text{Th12}$ の伸展運動が減少するとそれに伴い肩甲骨関節窩の上方回旋角は増大する、もしくは肩甲骨関節窩の上方回旋角が減少するとそれに伴い $\angle\text{Th12}$ の伸展運動は増大するという結果を得た。

金子ら¹¹⁾は、高齢群と若年群を対象に、上肢下垂位と両上肢最大屈曲位において肩甲骨上方回旋角と胸椎伸展角度の変化を比較すると、高齢群で両上肢最大屈曲角度における胸椎伸展角度の減少は軽度であったが肩甲骨上方回旋角の割合は増大していたことから、胸椎の伸展運動の制限を肩甲骨胸郭間連結の動きで代償していたと報告している。本研究も、 $\angle\text{Th12}$ の伸展運動が減少すると肩甲骨関節窩の上方回旋角で代償する、もしくは肩甲骨関節窩の上方回旋角が減少すると $\angle\text{Th12}$ の伸展運動により代償することを支持する結果となった。よって、肩甲骨関節窩の上方回旋角と $\angle\text{Th12}$ の椎間関節角度は互いを補償し合う関係であると考ええる。しかし、相関係数は $r=0.43$ と中程度の相関であり、高い相関は示さなかった。この理由としては、本研究の対象は若年健常成人であり過度に小さいもしくは大きい胸椎後弯角の対象は除外しているため、高齢者のように胸椎伸展角度が制限されることなく代償する必要がなかったため、高い関連性を示さなかったと考える。

3. 本研究の臨床的意義

本研究より、若年健常成人における背臥位、両側肩関節屈曲運動での胸椎椎間関節の各分節における矢状面の可動域変化とその特徴、および肩甲骨上方回旋と胸椎椎間関節の伸展運動との間に相関関係があることが示された。

涉猟する限り、上肢挙上運動に伴う胸椎の各分節における伸展運動を調べた先行研究は見あたらない。徒手理学療法分野では、胸椎可動性評価は各分節で行われるため、本研究の結果は上肢挙上運動での胸椎可動性を徒手的に評価するにあたり参考となる有意義な内容と考える。

また、肩関節屈曲運動最終域では、肩甲骨上方回旋と胸椎椎間関節の伸展運動は互いに補償し合う関係にあることが示唆された。臨床場面において、上肢挙上に伴う、肩甲骨の過度な上方回旋や下位胸椎の過度な伸展運動による機械的刺激を軽減するための治療戦略を立てる上で、本研究の結果を応用できる可能性があると考ええる。

4. 本研究の限界と今後の課題

本研究の限界としては、今回は肩関節屈曲運動に伴う胸椎椎間関節の各分節の可動域変化を解析することを目的としてMRIを使用したため、実験肢位を背臥位に設定した点が挙

げられる。したがって、重力の影響や脊柱が床面に接していることで、可動域の量的な変化については言及できない。

また、今回は若年健常成人を対象としたが、性別や年齢および胸椎後弯角の違いにより異なる結果となる可能性がある。そのため今後は、それらの相違を踏まえて対象を設定し、検証していく必要がある。

引用文献

- 1) Inman VT, Saunders FRCS, Abbott LC: Observations on the function of the shoulder joint. J Bone Joint Surg 26A: 9-11, 1944
- 2) 竹井仁, 根岸徹, 後藤保正, 他: MRI による肩関節屈曲運動の解析. 日保学誌, 14(1):13-23, 2011
- 3) Kapandji IA: 腰椎, 胸椎. 荻島秀男 監訳, カバンディ関節の生理学 III 体幹・脊柱, 第1版: 66-69, 144, 医歯薬出版, 東京, 1995
- 4) 甲斐義浩, 村田伸, 堀江淳, 他: 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-. 理学療法科学, 25:19-22, 2010
- 5) Crosbie J, Kilbreath SL, Hollmann L, et al: Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion. Clin Biomech 23: 184-192, 2008
- 6) Edmondston SJ, Singer KP: Thoracic spine: anatomical and biomechanical considerations for manual therapy. Man Ther, 2: 132-143, 1997
- 7) Theodoridis D, Ruston S: The effect of shoulder movements on thoracic spine 3D motion. Clin Biomech, 17: 418-421, 2002
- 8) 上田泰之, 浦辺幸夫, 大林弘宗, 他: 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, 57:485-490, 2008
- 9) 上田泰之, 浦辺幸夫, 山中悠紀, 他: 上肢挙上運動時の負荷が肩甲骨および体幹の運動に及ぼす影響. 理学療法科学, 24(3):323-328, 2009
- 10) 甲斐義浩, 村田伸, 中江祐輔, 他: 拘縮肩患者における上肢挙上運動と脊柱彎曲角との関係. 総合リハ, 39(1):71-74, 2011
- 11) 金子天哉, 清水弘之, 笹生豊, 他: 脊椎圧迫骨折患者の脊椎と上肢挙上との関係-Spinal Mouse による検討-. 聖マリアンナ医科大学雑誌, 37:191-202, 2009
- 12) Edmondston SJ, Ferguson A, Ippersiel P, et al: Clinical and Radiological Investigation of Thoracic Spine Extension Motion During Bilateral Arm Elevation. J Orthop Sports Phys Ther, 42: 861-869, 2012
- 13) Y.Hirabayashi: Anatomical configuration of the spinal column in the supine position. III. Comparison of adolescent and adult volunteers. British Journal of Anaesthesia, 76: 508-510, 1996
- 14) 伊藤友一: MRI による健常人の胸椎矢状面配列. 東日本整災会誌, 14:77-81, 2002
- 15) 立原久義, 浜田純一郎, 山口光國, 他: 健常者の上肢挙上に伴う胸郭と肩甲骨の運動. 肩関節, 36(3):795-798, 2012

- 16) Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, et al: Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. J Bone Joint Surg Am, 91: 378-389, 2009
- 17) 鶴岡祐治, 糸部恵太, 東史朗, 他: 肩関節屈曲動作における肩甲骨と胸椎の関係. 第35回関東甲信越ブロック理学療法士学会 抄録集: O-001, 2016
- 18) 竹井仁: 触診機能解剖カラーアトラス上巻. 第1版: 86, 143, 文光堂, 東京, 2010
- 19) White AA III, Panjabi MM: Clinical biomechanics of the spine, 2nd ed: 127-163 JB Lippincott, Philadelphia, 1990
- 20) Castaing J, Santini JJ: 脊柱. 井原秀俊・中山彰一・井原和彦 訳者, 図解 関節・運動器の機能解剖 上肢・脊柱編, 第1版: 129-149, 協同医書出版社, 東京, 2002
- 21) Schünke M, Schulte E, Schumacher U: 体幹 胸椎. 坂井建雄・松村譲児 監訳, プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論/運動器系, 第2版: 108-110, 医学書院, 東京, 2011
- 22) 井上仁: 胸郭の運動学. 理学療法, 25, 1672-1677, 2008
- 23) Lee D: BIOMECHANICS OF THE THORAX CHAPTER 3. The thorax, 2nd ed: 20, 46-48, 54-55, OPTT, Minneapolis, 2003
- 24) Bogduk N: 腰椎の運動. 斎藤昭彦 監訳, 腰椎・骨盤領域の臨床解剖学 腰痛の評価・治療の科学的根拠, 第4版: 87, エルゼビアジャパン, 東京, 2008
- 25) 竹井仁: 触診機能解剖カラーアトラス下巻. 第1版: 375, 384, 文光堂, 東京, 2010
- 26) 柿崎藤泰: 胸郭運動システムの再建法-呼吸運動再構築理論に基づく評価と治療, 第1版: 34, 三輪書店, 東京, 2016

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to analyze the range of motion of thoracic spinal segments and to investigate the coordination of scapular and thoracic spine motions during bilateral upper limb movements in the sagittal plane.

Methods: Twenty-two healthy people (ten women, twelve men) performed bilateral arm flexion movements in 5 positions, at 0°, 60°, 120°, 150°, and the maximum elevation. We analyzed the range of motion of the thoracic zygapophysial joints (from \angle Th1 to \angle Th12) and scapular upward rotation, and investigated the relationship between thoracic spine extension motion and scapular upward rotation, using magnetic resonance imaging (MRI).

Results: \angle Th4 extension showed during from 0° to 120°, \angle Th11 extension during from 120° to the maximum elevation, \angle Th12 extension during from 150° to the maximum elevation. Those were found to have negative correlation between scapular upward rotation and \angle Th11・ \angle Th12 extension during from 120° to 150°, and positive correlation between scapular upward rotation and \angle Th12 extension during from 150° to the maximum elevation.

Conclusions: \angle Th4 extension during from 0° to 120° and \angle Th11・ \angle Th12 extension after 120° contribute to bilateral arm flexion movements. In addition, the results suggest that scapular upward rotation and thoracic spine extension motion help each other.

Key Words

Shoulder elevation, Thoracic spine extension motion, Scapular upward rotation, Magnetic resonance imaging