

2020 年度 博士論文

「特発性側弯症における脊柱変形の三次元的分析」

宇於崎 孝

京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科

バイオテクノロジー専攻

目次

第1章 序章

1-1.側弯症の歴史	1
1-2.特発性側弯症とは	1
1-3.側弯症の X 線画像診断	2
1-4.側弯症の脊柱弯曲の計測とその特徴	7
1-5.日本における検診の経過と現状	9
1-6.先行研究での問題点	11
1-7.本研究の目的と概略	12

第2章 脊椎正面 X 線画像から計測した椎体回旋角度の有効性の検証

2-1.目的	16
2-2.方法	16
2-3.結果	21
2-4.考察	21
2-5.まとめ	24

第3章 脊柱アライメントの三次元的分析

3-1.目的	25
3-2.方法	25

3-3.結果	28
3-4.考察	28
3-5.まとめ	36

第4章 体表から計測する体幹回旋角度の有効性

4-1.目的	37
4-2.方法	38
4-3.結果	39
4-4.考察	42
4-5.まとめ	43

第5章 総括討議

5-1.側弯症における画像評価方法の検証と問題点	44
5-2.側弯症のスクリーニングや診断における前屈テストの有効性と展望	46
5-3.側弯症の理学療法への応用	47
結論	49
謝辞	52
参考文献	53

図・表一覧

図 1-1 側弯症の症例

図 1-2 前屈テストで出現する背部隆起

図 1-3 Nash&Moe の椎体回旋評価法

図 1-4 脊柱の連結運動

図 1-5 ATR の計測方法

図 2-1 Cobb 角の計測方法

図 2-2 正面 X 線画像における椎体回旋角度の計測方法

図 2-3 CT 画像における椎体回旋角度の計測方法

図 2-4 CT 回旋度と椎体回旋率の相関関係

図 3-1 矢状面での脊柱後弯角の計測方法

図 3-2 背臥位での Cobb 角度と椎体回旋率の相関関係

図 3-3 立位での Cobb 角度と椎体回旋率の相関関係

図 3-4 後弯角と Cobb 角の相関関係

図 3-5 後弯角と椎体回旋率の相関関係

図 4-1 Cobb 角と ATR の相関関係

図 4-2 椎体回旋率と ATR の相関関係

略語一覧

本研究で用いる主な略語は、以下のとおりである。

ATR：背部の回旋角度（angle of trunk rotation）

Cobb 角：コブ角（Cobb angle）

CT：コンピュータ断層診断装置（Computed Tomography）

EOS：sterEOS イメージングシステム（sterEOS imageing system）

MRI：磁気共鳴画像診断装置（Magnetic Resonance Imaging）

SRS：脊柱側弯症学会（Scoliosis Research Society）

X 線：X 線写真撮影（X-ray Photograph）

第1章 序章

1-1.側弯症の歴史

側弯症の歴史は古く、ヒポクラテスにより使用された古い言葉であり、脊柱の異常彎曲を意味している。Kumer,(1996)は、BC3500年～BC1800年に書かれた古代インドの宗教書には、側弯あるいは後側弯と思われる信者をまっすぐにした逸話の記載があり、これがおそらく側弯に言及した世界最古の書であろうとしている。ヒポクラテスの治療法は、11世紀にビザンチン宮廷医が用意したギリシャ時代の矯正法の図を集大成したものがある。また、16世紀になって鉄製の鎧装具を使用され、これが側弯装具の始まりとされている。さらに19世紀前半には、側弯症に対して筋切開が行われ始め、20世紀には棘突起を固定する脊椎固定術が行われた(鈴木, 2014)。以来、様々な治療法が考案され、改良を加えながら現在に至っている。

1-2.特発性側弯症とは

特発性側弯症という疾患は、主として脊椎が成長している子供に多い。特発性側弯症の原因は諸説あるものの、真の原因は不明である。したがって、現在の段階ではこの疾患を予防することはできないため、治療は基本的に早期発見および現在の彎曲矯正、彎曲増悪の予防になる。

症状は身体的、心理的な要素を伴う好ましくないみかけに関したものが主体である。また、通常痛みを伴うことはないが、加齢に伴い腰背部痛が出現することも多

い。さらに、この変形が強度になると呼吸器障害を起し、二次的には心合併症をおこす可能性もある。これらを防ぐために、早期発見早期治療が必要なる。

側弯症は、病態や成因をもとにした脊柱側弯症学会（Scoliosis Research Society：SRS）の分類が一般的に用いられる。大きく分けると、機能的側弯とも呼ばれる非構築性側弯と構築性側弯に分類される。前者は反射性、一過性または習慣性に発生したもので、原因を取り除くことにより側弯が消失する。一方、後者は椎体回旋を伴い肋骨隆起、腰部隆起などの背部隆起を伴い、容易に矯正し得ないもので、臨床上問題となる側弯症は構築性側弯症である（図 1-1,図 1-2）（井上, 2016）。側弯症は、報告者により差はあるものの約 1～2%の有病率を有している。そのうち原因が不明な特発性側弯症が全側弯症の 80-90%を占め、10-20%は先天性や神経原生、神経筋性など病因である。臨床においても多くみられる脊柱変性疾患である。

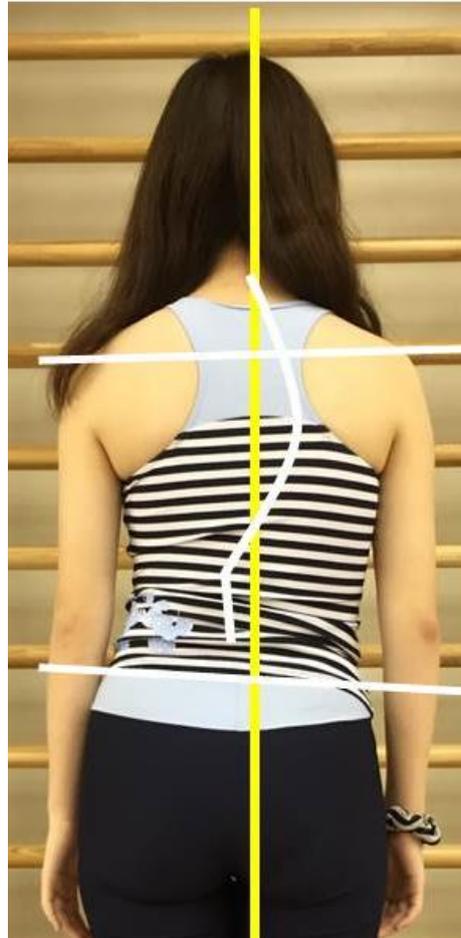
特発性側弯症は、胸椎カーブは右凸、腰椎カーブは左凸であることが多い。3 歳以下で発症する乳幼児期側弯症、4~10 歳で発症する学童期側弯症、11 歳以降で発症する思春期側弯症の 3 つに分けられる。X 線を基にした SRS のカーブパターンは、頸椎、頸胸椎、胸椎、胸腰椎、腰椎、腰仙椎カーブに分類されている。特発性側弯症は、脊柱の側屈と同側への軸回旋を伴った一連の脊椎の弯曲の異常が生じる疾患である。

1-3.側弯症の X 線画像診断

側弯症は前額面での側方への弯曲変形のみならず、脊柱の回旋をとめない、その



a.



b.

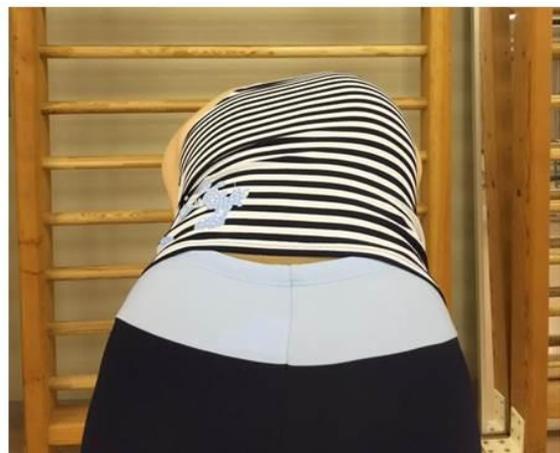
図 1-1 側弯症の症例

a.X 線画像

b.背面からの写真による姿勢変化



a.



b.

図 1-2 前屈テストで出現する背部隆起

a.腰部隆起（左腰部）

b.肋骨隆起（右胸部）

変形高位は矢状面での前弯を呈する三次元変形である。X線評価での脊柱のカーブ形態は、コブ角（Cobb angle：Cobb角）で定量化する。これは、Cobb J.R, (1948) が脊柱側弯症の分類のために前後投影でX線写真の冠状面変形を測定するために最初に使用したものである。Cobb角は、カーブの頭尾側端の椎体の傾きの角度であり、正常脊椎前後像では 0° となる。通常、X線所見上、凸側方向へ椎体が回旋した三次元的変形で、かつCobb角が 25° ～ 30° を超えると装具治療の対象となる。Cobb角が $40\sim 45^{\circ}$ を超えると健常者に比べて体幹変形の自己イメージが悪化したり、進行して二次的障害を惹起したりするため、手術対象となることが多い（Watanebe et al,2005）。Cobb角により計測された 10° 以上の左右への弯曲は変形を意味し、一般にCobb法による側弯角が 10° 以上を側弯症と診断される（町田ら、2012）。また側弯の評価にはCobb角を用い、Cobb角が 10° 以上を通常側弯症と診断する（松本、2014）。このように、多くの医師が、側弯症の画像評価から診断まで、前額面での脊柱変形角度を指標にしていることが多い。SRSの定義では、カーブがCobb角 10° 以上を側弯症としている。しかし、子供の場合はカーブが 10° 以下であっても回旋に注意しなければならないといわれている。

回旋角度は、椎弓根の左右の大きさの違いや棘突起の位置の違いで回旋の程度が判断できる。一般には、頂椎の回旋の程度については、椎弓根陰影の左右非対称性の程度で表示するNash&Moe, (1969)の方法が用いられる（図1-3）。この方法は、椎弓根が左右対称であれば正常、椎弓根が椎体辺縁に偏移するとGrade I、椎弓根が欠損すればGrade II、椎弓根が 45° 変移し消失するとGrade III、椎弓根が 45° 以上

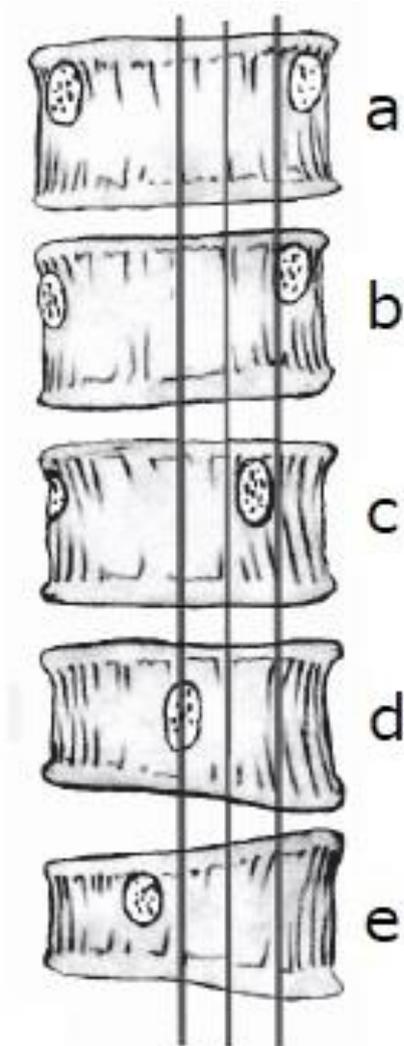


図 1-3 Nash&Moe の椎体回旋評価法

南昌平(2016)

- a. Neutral (0) 椎弓根対称性・b. Grade I 椎弓根椎体辺縁偏移
- c. Grade II 椎弓根欠損・d. Grade III 椎弓根消失 (45° 偏移)
- e. Grade IV 椎弓根 45° 以上偏移

偏移で GradeIVとされている。

1-4.側弯症の脊柱弯曲の計測とその特徴

側弯症の診断を行う際、SRS が定める X 線の標準的撮影肢位は、立位を推奨している。しかし、この角度には誤差が生じやすい (Weiss et al,1998)。また、日差や撮影時間にも影響を受けるとされており、5° 未満の変化は誤差とされている (Beauchamps et al,1993)。側弯症でなければ、脊柱の異常を疑い X 線を撮影する場合は撮影誤差を少なくするため臥位で撮影されることが標準である。また、コンピュータ断層診断装置 (Computed Tomography : CT) や磁気共鳴画像診断装置 (Magnetic Resonance Imaging : MRI) は臥位で撮影されるため、比較のため背臥位でも撮影されることは多い。

側弯症は、脊柱が横に曲がるのではなく捻じれることにより、回旋と側屈が同時に起きる脊柱の連結運動により側弯変形が形成されると解明されている (野原, 2012)。側弯症の定義としては、移行部により組み合わさったねじれ領域の連結を示す (Dubousset,1992)。また、側弯症は複合的な過程をもつ。椎体は矢状面上のあるべき位置から三次元的にねじれた幾何学的位置に動き、形態的变化と脊柱の全体的な変形による体幹のゆがみを生じる (Aubin et al,1998)。特発性側弯症は、側屈と回旋を伴う脊柱変形が生じ、通常胸椎では前弯化を伴うことが多い (守安ら, 2014)。また、矢状面における胸椎の平坦化から前弯になっていくことが観察される (Dickson et al,1984)。さらに、側弯症は脊柱の横の弯曲を描写するために使用され

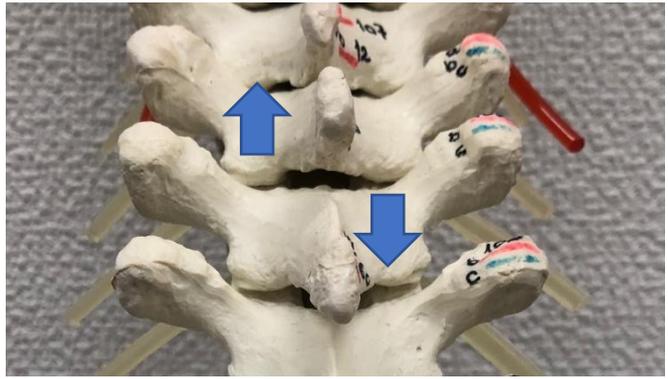


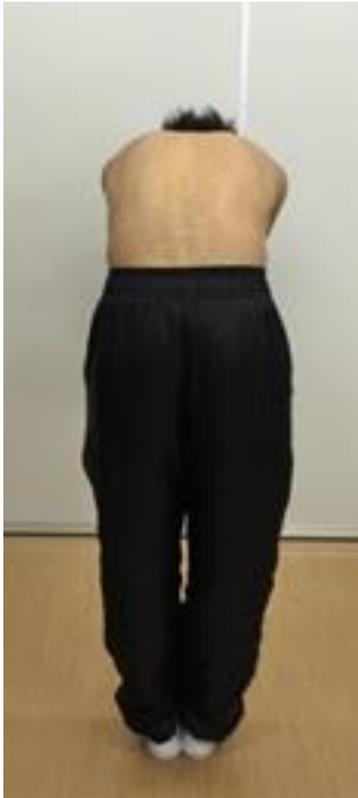
図 1-4 脊柱の連結運動

た用語である。多くの患者の胸椎はねじれの三次元的変形を助長する軸回旋を伴っている(Weiss et al,2018)など、様々な報告がある。そのいずれも、側弯症は三次元的な脊柱変形であるとしている。

1-5.日本における検診の経過と現状

改正学校保健法により1979年以降、学校検診時の側弯症検診が義務づけられた。しかしながら、検診の方法は各自治体間によって異なるが、多くは一次検診として内科医や小児科医による視診やモアレ法による検診などが行われ、そこで側弯症が疑われた場合には整形外科医による二次検診が行われる(川上, 2016)。2005年から2010年にかけて「学校における運動器検診体制の整備・充実モデル事業」が実施され、これを踏まえて2014年に文科省より「学校保健安全法施行規則の一部改正等について(通知)」が出された。その後2016年4月より運動器検診が開始された(古谷, 2016)。

この運動器検診では、いくつかも問診項目があるが、特定の疾患を疑う検査項目としては、この側弯症のみである。この検査項目としては、両肩の高さの違い、前屈テストにおいて背部の高さの左右差の有無を判定する。このうち、前屈テストでの背部の隆起は、肋骨隆起と呼ばれ、側弯症を診断する際に使用される。背部の肋骨隆起や腰部隆起はその程度をスコリオメーターで計測する(図1-5)。体幹前屈することにより立位では少ない隆起が、増強されるというものである。健常成人において、森ら(2013)は 0° の者はおらず平均 3.9° の肋骨隆起があるとしている。前屈テストで



a.



b.

図 1-5 ATR の計測方法

a. 前屈テスト姿勢

b. スコリオメーターでの計測方法

の背部の回旋角度 (angle of trunk rotation : ATR) は, 5° で Cobb 角 20° と相関していると報告している (Bunnell,1984). しかし, ATR をスコリオメーターのみで側弯計測を行うことはすべきでないとしている (Amedt et al,1990). さらに, スコリオメーターで計測した ATR は Cobb 角と相関していることを報告している (Tyrakowski et al,2017). また, 小笠原, (2014) は $0^{\circ} \sim 4^{\circ}$ を正常範囲, $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ を中等度, 7° 以上を高度側弯とし, この肋骨隆起が 7° 以上は Cobb 角 30° に相当するとした. しかし, Grosso et al,(2002)が肋骨隆起と Cobb 角との相関の低さを指摘するなど見解が分かれているものの, 本邦では現在も学校検診や臨床の場において, 前屈テストは側弯症のスクリーニングテストとして使用されている.

1-6.先行研究での問題点

以上のことより以下の問題点が挙げられた.

1) 側弯症の診断は, Cobb 角の大きさを判断されがちであるが, 側弯症は三次元変形であり, 脊柱の回旋角度変化も非常に重要である. この脊柱の回旋の程度については, 椎弓根陰影の左右非対称性の程度で表示する Nash&Moe, (1969) の方法が用いられる (図 1-3). しかし, この方法は 4 段階の評価であり, 詳細な回旋状況は分からない. また, 回旋を角度で表す Perdriolle et al,(1985) の方法があるが, X 線画像に直接専用のテンプレートをあてて計測する必要があり, デジタル画像には使用しづらく, テンプレートも国内では入手できなく, この回旋角度の評価方法は確立されていない.

2) X線では前額面における Cobb 角だけでなく、矢状面、水平面における変化を計測する必要があるが、この側弯症で生じる脊柱の三次元的変形の、それぞれの関係性については、確認されていない。

側屈すれば必ず回旋が生じるはずだが、臨床において、彎曲のパターンや程度は個々によって異なり、また側屈と回旋の大きさにも関係性はないのではないかと考えている。これについて、画像における回旋評価が定量化されていないこともあり、これまで検証がなされていない。また、立位と背臥位での Cobb 角は 2 割程度過小評価するとされるが、経験則であり根拠はない。

3) 学校検診や臨床の場において、前屈テストは側弯症のスクリーニングテストとして行われている。この前屈テストは以前より使用されているが、その有効性については様々な見解があり、この ATR と側弯症の重症度の相関やその角度の指標については統一した見解がない。

1-7.本研究の目的と概略

1-7-1 目的

本研究では、前述した 3 つの問題点に対して、それぞれ実験を行い、その結果を検証した。まず、1 つ目は、被曝量が比較的少なく、経過観察時に必ず撮影される正面 X 線写真撮影 (X-ray Photograph : X 線) 画像から椎体回旋角度を計測する方法を考案した。この方法の有効性を確認するために、脊椎の回旋角度が正確に計測できる

CT 画像と比較して検証を行った (実験 1).

次に、2つ目の問題である側弯症で生じる脊柱の三次元的変形のそれぞれの角度変化の関係性について解明されていないため、側弯症の脊柱変形がどのような三次元的変化を成すのかを知ることを目的とした (実験 2).

最後に、3つ目の問題である側弯症を発見するスクリーニングテストとして行われている前屈テストで計測される ATR と側弯症の重症度の相関やその角度の指標については統一した見解がないため、ATR と X 線画像から計測した側屈角度と回旋角度の相関を示し、ATR から推測される変形の程度の指標を示すことを目的とした (実験 3).

これら 3つの問題点を解決するために、それぞれに対して実験を行い、特発性側弯症に対して根拠のある運動療法や身体的負担の少ない経過観察を行うため、脊柱変形の特徴を三次元的に捉える方法や指標を確立することを目的とした。

1-7-2 本研究の構成

本研究は序章 (第 1 章)、脊椎正面 X 線画像を用いた椎体回旋度の計測方法の検討 (第 2 章)、脊柱アライメントの三次元的分析 (第 3 章)、体表から計測する体幹回旋角度の有効性 (第 4 章)、および統括論議 (第 5 章) からなる。

第 2 章 脊椎正面 X 線画像から計測した椎体回旋角度の有効性の検証 (実験 1)

考案した脊椎正面 X 線画像から簡便に椎体回旋角度を計測する方法の有効性を

CT 画像と比較して検証した。本章は、理学療法湖都第 39 号に掲載された論文を基に構成した。

主論文：

脊椎正面 X 線画像を用いた椎体回旋度の計測方法の検討～CT 画像との比較～

宇於崎孝，瀬本喜啓，来田宣幸，篠山大輝，廣田愛，辻佑弥，島田夏帆，嶋津えみ，郷芽衣子，前川直行

理学療法湖都，第 39 号，53-56，2019.

第 3 章 脊柱アライメントの三次元的分析（実験 2）

実験 1 で確立した椎体回旋角度の計測方法を用いて，椎体回旋率と Cobb 角との 2 つの値の相関を背臥位，立位での値とそれぞれで検証した。そして，さらに立位における椎体回旋率と Cobb 角，矢状面での後弯角から三次元的な脊柱変形の関係性について検証を加えた。本章は，Journal of Asian Orthopedic Manipulative Physical Therapy, vol1 に掲載された論文ならびに理学療法湖都第 40 号に掲載される論文を基に構成した。

主論文：

Relationship between measurement of rotational angle of vertebral body using the front X-ray of spine and Cobb angle.

Takashi UOZAKI, Yoshihiro SEMOTO, Noriyuki KIDA, Daiki SHINOYAMA,
Ai HIROTA, Yuya TUJI, Kaho SHIMADA, Emi SHIMADU, Meiko GO,
Naoyuki MAEGAWA

Journal of Asian Orthopedic Manipulative Physical Therapy, vol1, 94-99, 2020.

主論文：

特発性側弯症患者の胸椎アライメント変化～X線画像による三次元的観察～

宇於崎孝, 瀬本喜啓, 来田宣幸, 篠山大輝, 廣田愛, 辻佑弥, 島田夏帆, 嶋津えみ,
郷芽衣子, 前川直行

理学療法湖都, 第40号, 2021. (accept)

第4章 体表から計測する体幹回旋角度の有効性（実験3）

実験2で検証した画像での検証に加え、体表から観察した肋骨隆起の角度である
ATRがCobb角や椎体回旋率の大きさを判断する指標として正しいのか検証した。

第5章 総括討議

以上の結果に基づき、側弯症における画像評価方法の検証と問題点、側弯症のスクリーニングや診断における前屈テストの有効性と展望、側弯症の運動療法について考察した。

第2章 脊椎正面 X 線画像から計測した椎体回旋角度の有効性の検証

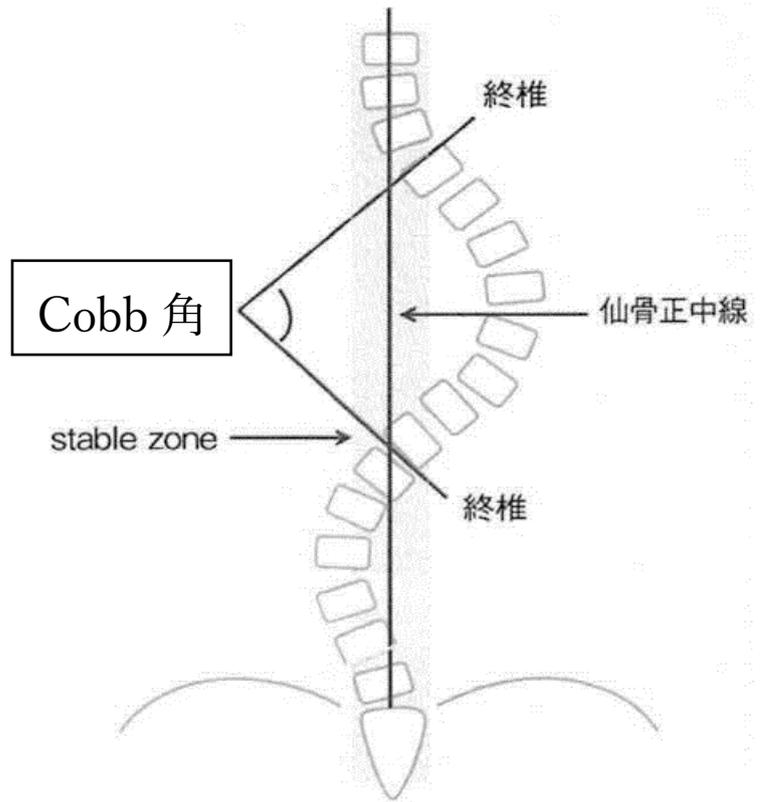
2-1. 目的

側弯症の診断には、脊柱の側屈の程度が重要視されており、一般的に側弯度である Cobb 角を計測する。これは上位終椎上縁と下位終椎下縁のなす角で計測する (図 2-1)。側弯症の進行度では、この Cobb 角の大きさに注目しがちであるが、脊柱の回旋角度も非常に重要である。この回旋角度は、椎弓根の左右の大きさの違いや棘突起の位置の違いで回旋の程度が判断できる。一般には、頂椎の回旋の程度については、椎弓根陰影の左右非対称性の程度で表示する Nash&Moe, (1969) の方法が用いられる (図 1-3)。しかし、この方法は4段階の評価であり、詳細な回旋状況は分からない。また、回旋を角度で表す Perdriolle, (1985) の方法があるが、X 線画像に国内では入手できない特殊な専用のテンプレートをあてて計測する必要があり、現在のデジタル画像での X 線には使用しづらい。そこで、現在の臨床において簡便に椎体回旋角度を計測する方法を考案し、その有効性を検証する目的で、デジタル画面上の脊椎正面 X 線画像により椎体の回旋率を求め、CT 画像により求めた回旋角度と比較検討した。

2-2. 方法

2-2-1. 対象

特発性側弯症と診断され手術を行った 39 例 (男性 2 例, 女性 37 例) とした。平



南 (2016)

図 2-1 Cobb 角の計測方法

均年齢 16.1 ± 2.8 歳であった。対象椎体は、胸椎カーブの頂椎とし、第 6 胸椎 1 名、第 7 胸椎 8 名、第 8 胸椎 20 名、第 9 胸椎 9 名、第 10 胸椎 1 名で、1 名は左凸であり他はすべて右凸カーブを有していた。背臥位で撮影した脊椎正面 X 線画像および X 線撮像同日か数日以内に撮像した CT 画像を使用した。

本研究は、手術に必要な X 線画像と CT 画像を使用したもので、研究のための検査は行っていない。また、患者の個人情報など特定できないデータのみ使用するよう十分配慮した。

2-2-2. 脊椎正面 X 線画像における椎体回旋角度の計測方法

脊椎正面 X 線画像の回旋の計測には、心臓胸郭比の計測ツールを利用した。右回旋している椎体において、椎体両端の距離 (b) で、椎体右側端と右椎弓根の中央との距離 (a) を除して百分率で表した (以下椎体回旋率) (図 2-2)。

2-2-3. CT 画像における椎体回旋角度の計測方法

CT 画像での椎体回旋度は、Aaro et al, (1978) の方法に準じて、体幹における垂直線 (A) と、椎孔中央の背側中央と椎体中央を通る線 (B) とのなす角度を椎体回旋角とした (以下 CT 回旋度) (図 2-3)。

2-2-4. 統計処理

椎体回旋率および CT 回旋度ともに同一検者が 3 回計測した平均値を採用した。

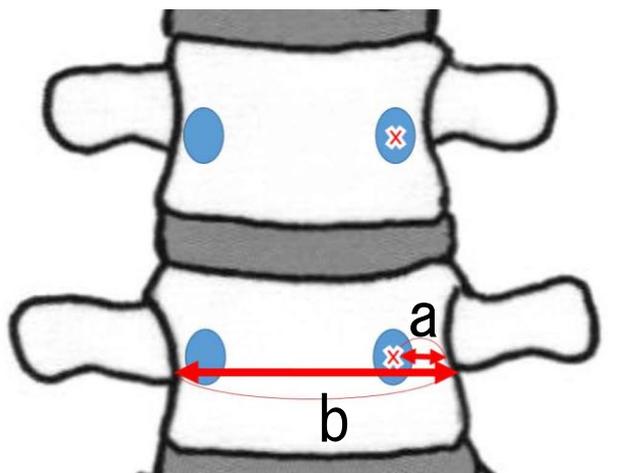


図 2-2 脊椎正面 X 線画像における椎体回旋角度の計測方法

$$\text{椎体回旋率} = a/b \times 100 (\%)$$

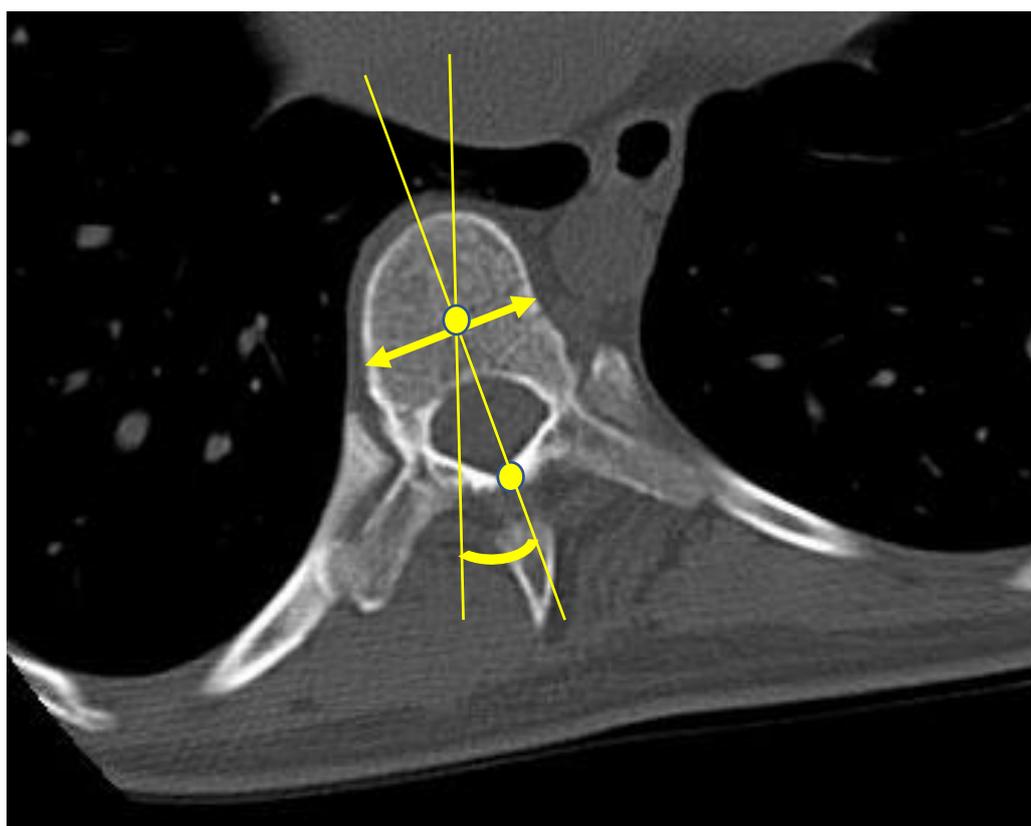


図 2-3 CT 画像における椎体回旋角度の計測方法

統計学的分析は、SPSS (version21.0; IBM 社製) を使用し有意水準は 5 %とした。

検者内信頼性の検討には、級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient : ICC) を用いた。ピアソンの相関係数を用いて椎体回旋率と CT 回旋度の二つの値の相関を求めた。

2-3. 結果

椎体回旋率は、平均 $16.78 \pm 5.36\%$ 、CT 回旋度は平均 $7.53 \pm 3.31^\circ$ であった。椎体回旋率と CT 回旋度の計測値には有意な強い正の相関を示した ($r=0.805$, $P<0.05$) (図 2-4)。ICC は、椎体回旋率と CT 回旋度ともに 0.98 であった。

2-4. 考察

側弯変形は、機能的側弯と構築性側弯に分かれ、それぞれで治療方針が異なる。機能的側弯は、何らかの原因により生じたものであり一時的な場合もある。その特徴は椎体の回旋変形や楔状変形が存在しないことである (鎧, 2014)。一方、構築性側弯では、結合組織・軟骨・骨に変形があり、椎体に回旋や楔状変形が認められる。その中でも原因が分かっているものとそうでないものに分けられ、原因が分かっているものを特発性側弯症と分類する。特発性側弯症は、原因不明で脊柱の変形が生じる疾患であり、本邦においては有効な治療として装具療法と手術療法が行われており、軽度なものでは経過観察となっている。これらの治療の選択において、一般的に脊柱の側方への弯曲角度を計測する Cobb 角を基準としていることが多い。しか

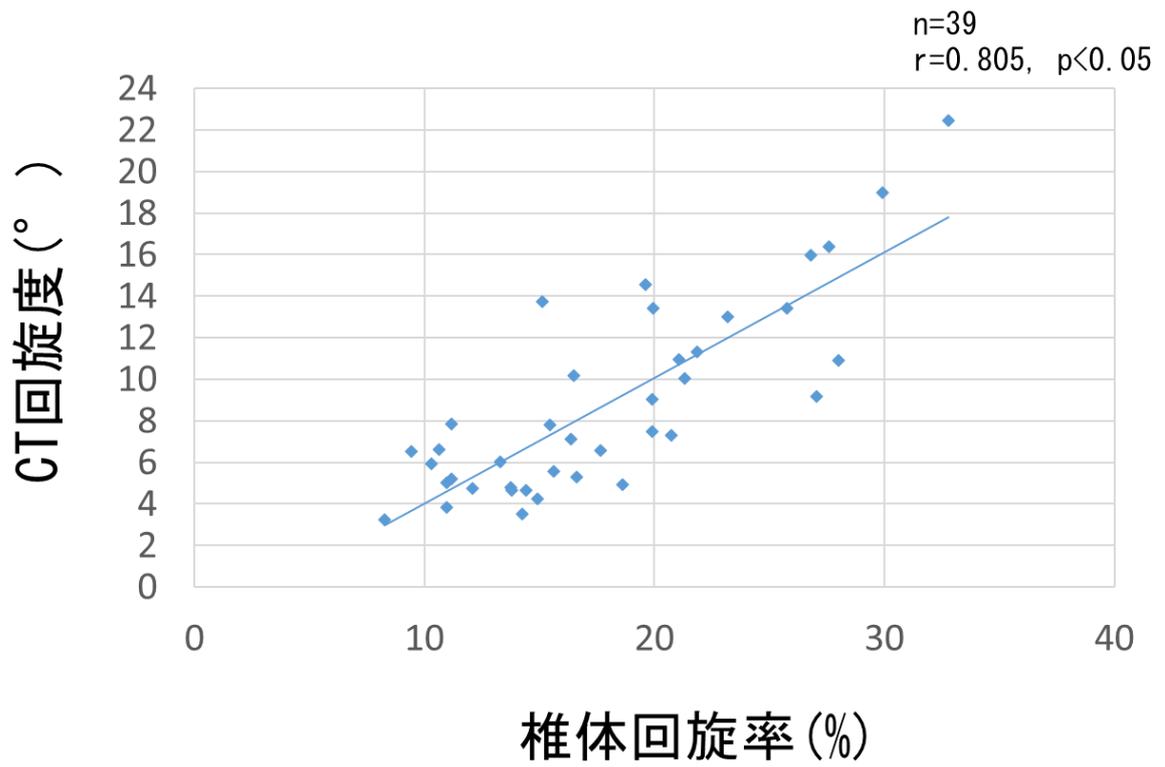


図 2-4 CT 回旋度と椎体回旋率との相関関係

し、臨床においては、Cobb 角の増大に伴って、体表から計測する脊柱の回旋角度を計測することができるスコリオメーターの値は、必ずしも増大しない。そのため、側屈と回旋は両方ともに計測して経過を観察することが重要だと考えている。

理学療法士による運動療法は、本邦において明確な治療効果が示されておらず特発性側弯症に対して運動療法を施行することは少ない。しかし近年, Kuru et al, (2016) は、理学療法士の指導の下、6 週間（週 3 回、1 回 1.5 時間）のシュロス法を行うことで、Cobb 角 -2.53° 、回旋角度 -4.23° の改善がみられたと報告している。このように、側屈と回旋の改善については、分けて考えることが運動療法でも重要である。

特発性側弯症では、回旋と側屈が同時に起きる脊柱の連結運動により形成される脊柱変形であり、通常胸椎では前弯化を伴う。その変形は病気の進行とともに複雑となる。大きく弯曲した脊柱では、棘突起は凹側へ回旋・偏位し、椎体は凸側へ回旋する。側弯の X 線角度計測は Cobb 法で行うと記されることが多く、X 線において回旋計測を行うことは記されていることが少ない。そこで、臨床的にも簡便に椎体回旋が正確に計測できないかと検証することとした。

今回の結果より、椎体回旋率と CT 回旋度には強い正の相関があったことから、今回行った方法により脊椎正面 X 線画像から椎体の回旋角度の計測は信頼性がある測定方法であると言える。回帰直線から、椎体回旋度の推測値としては、椎体回旋率が 15%では、おおよそ 7° の回旋が認められ、その後 5%増加するごとに 3° 回旋が増加していると推測できた。今回の結果より、正面 X 線画像のみで椎体回旋角度

を推測でき、患者の被曝による身体的負担や費用を減じることができ、臨床的にも有用であることが示唆された。

2-5. まとめ

特発性側弯症患者を対象に、正面 X 線画像から椎体回旋角度を計測する方法を考案し、その有効性について検証した。

その結果、正面 X 線から計測した椎体回旋率と CT 画像から正確に計測した回旋角度の計測値には有意な強い正の相関 ($r=0.805$, $P<0.05$) を示したことから、この計測方法の有効性が示された。

従来より、Cobb 角を使用しての彎曲の重症度を定量化することだけでなく、脊柱側弯症の研究では椎体の回旋を定量化することが一つのテーマとなっている。MRI や CT、脊椎、腰、股関節の形体・配列の評価を行うことができる X 線撮影装置 EOS (sterEOS イメージングシステム: EOS) などといった高度な技術を使用すると、回旋の測定は可能になるが、今回の X 線画像を用いた椎体回旋角度の計測は、経過観察するために撮影する X 線から計測することができ、簡便に計測できる方法の一つとして有用だと考えられた。

第3章 脊柱アライメントの三次元的分析

3-1. 目的

実験1において、考案した椎体回旋角度を計測する方法の有効性が明らかになった。

ここでは、椎体回旋角度と側屈角度の関係性を背臥位と立位での違いを含めて検証する。また、矢状面での後弯角との関係性も加えて、三次元的に脊柱変形を分析し、その特徴を捉えることを目的とした。

3-2. 方法

3-2-1. 対象

特発性側弯症と診断され手術を行った39例（男性2例，女性37例）とした。平均年齢 16.1 ± 2.8 歳であった。対象椎体は、胸椎カーブの頂椎とし、第6胸椎1名、第7胸椎8名、第8胸椎20名、第9胸椎9名、第10胸椎1名で、1名は左凸であり他はすべて右凸カーブを有していた。Cobb角および椎体回旋角度の計測は、同日に撮影された脊椎背臥位正面X線画像および脊椎立位正面X線画像を使用し、デジタル画面上で行った。

本研究は、診察に必要なX線を使用したもので、研究のための検査は行っていない。また、患者の個人情報など特定できないデータのみ使用するよう十分配慮した。

3-2-2. Cobb 角の計測方法

Cobb 角は、胸椎部の頂椎の上下で最も傾斜している椎体外縁から直線を延ばし、その交点の成す角度を計測した (図 2-2)。

3-2-3. 椎体回旋角度の計測方法

椎体回旋角度は、心臓胸郭比の計測ツールを利用した。右回旋している椎体において、椎体両端の距離 (b) で、椎体右側端と右椎弓根の中央との距離 (a) を除して百分率で表した (図 2-3)。

3-2-4. 矢状面での脊柱後弯角の計測方法

脊柱後弯角は、井上 (2016) の方法に準じ、X 線矢状面像から、第 2 胸椎と第 12 胸椎椎体外縁から直線を延ばし、その交点の成す角度とした (図 3-1)。

3-2-5. 統計処理

Cobb 角および椎体回旋率、後弯角ともに同一検者が 3 回計測した平均値を採用した。統計学的分析は、SPSS (version21.0 ; IBM 社製) を使用し有意水準は 5 % とした。検者内信頼性の検討には、級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient : ICC) を用いた。ピアソンの相関係数を用いて背臥位および立位で計測した Cobb 角、椎体回旋率のそれぞれの値の相関を求めた。また、背臥位と立位それぞれの Cobb 角と椎体回旋率を対応のある t 検定を用いて比較した。さらに、立位で計測した Cobb

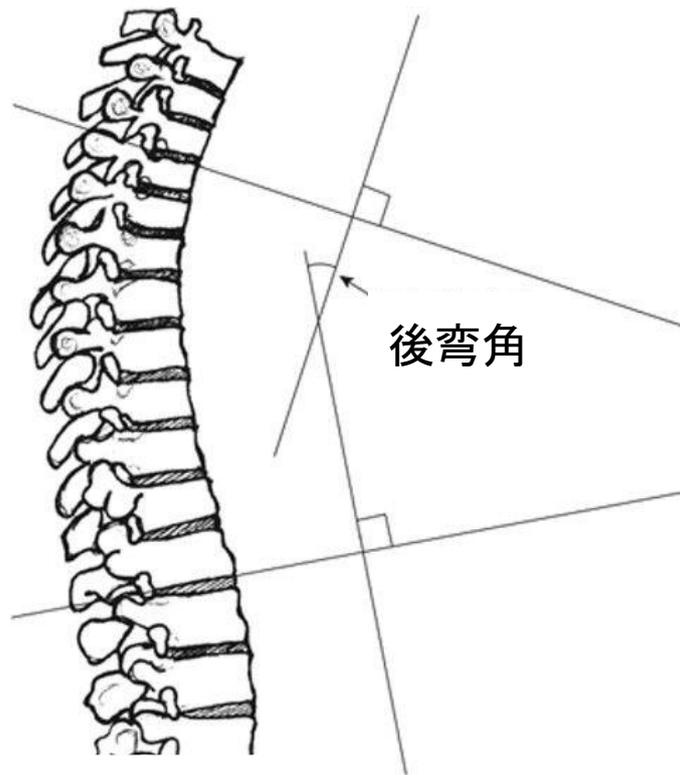


図 3-1 矢状面での脊柱後弯角の計測方法

Kado,M(2007)

角，椎体回旋率，後弯角のそれぞれの値の相関を求めた。

3-3. 結果

背臥位における Cobb 角 $33.3 \pm 6.0^\circ$ ，椎体回旋率 $17.9 \pm 6.2\%$ であり，相関は認められなかった ($r=0.272$, $P<0.09$) (図 3-2). 次に，立位での Cobb 角 $41.6 \pm 8.0^\circ$ ，椎体回旋率 $19.2 \pm 7.2\%$ であり，有意な正の相関が認められた ($r=0.43$, $P<0.01$) (図 3-3). さらに，背臥位と立位の Cobb 角と椎体回旋率を比較すると，Cobb 角で背臥位に比して立位で有意な増加を示した ($P<0.05$) が，回旋率は有意な差は認められなかった. 立位での値に比べ背臥位では，Cobb 角 $8.2 \pm 6.9^\circ$ ，椎体回旋率 $1.4 \pm 5.5\%$ 低い値を示した. 立位から背臥位での減少率は，Cobb 角で 80%，椎体回旋率で 93% であった。

立位における矢状面での後弯角は $18.5 \pm 8.7^\circ$ であった. 立位での Cobb 角と後弯角 ($r=-0.05$) (図 3-4)，立位での椎体回旋率と後弯角 ($r=-0.15$) (図 3-5) とともに有意な相関が認められなかった. ICC は，Cobb 角と椎体回旋率 0.98，後弯角は 0.97 であった。

4-4. 考察

背臥位での正面 X 線画像における椎体回旋率と Cobb 角には相関が認められなかったが，立位では二つの値に正の相関が認められた. このことから，手術適応となる程の強度な側弯を有する者では，胸椎における側屈と回旋には一定の関係性が認められた. 脊柱の連結運動と呼ばれる組み合わせ運動は，ある面で生じた主たる運動

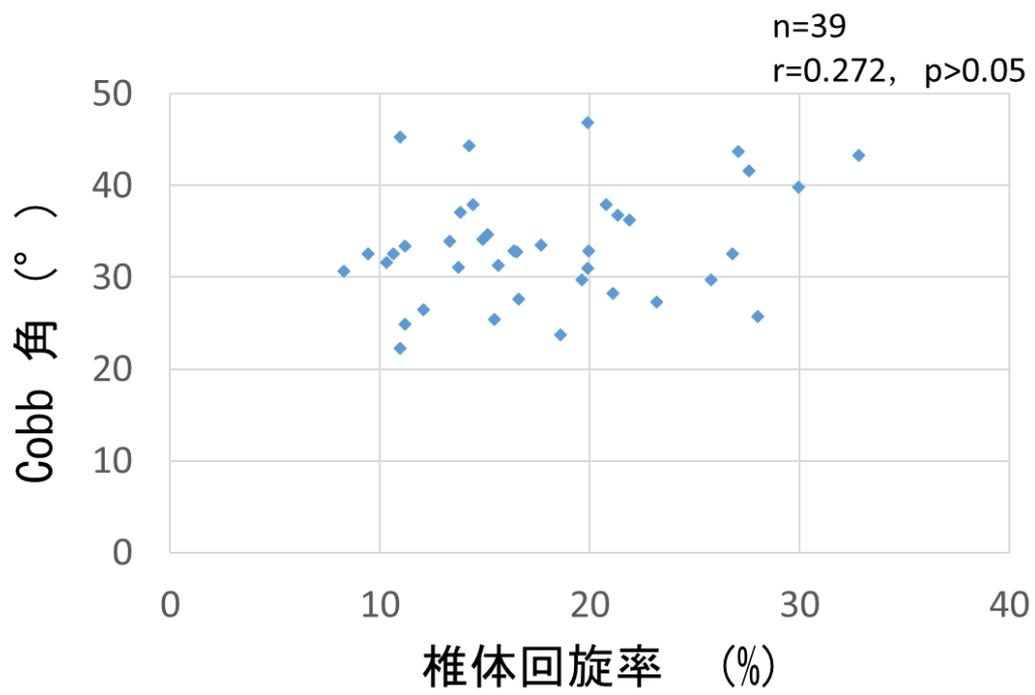


図 3-2 背臥位での Cobb 角と椎体回旋率の相関関係

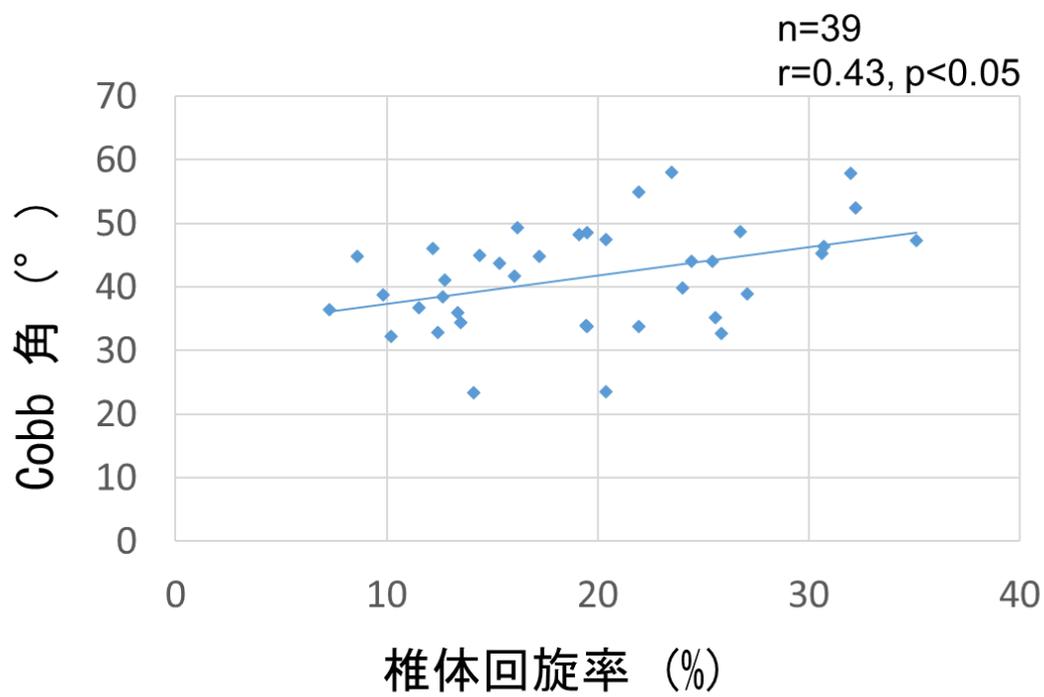


図 3-3 立位での Cobb 角と椎体回旋率の相関関係

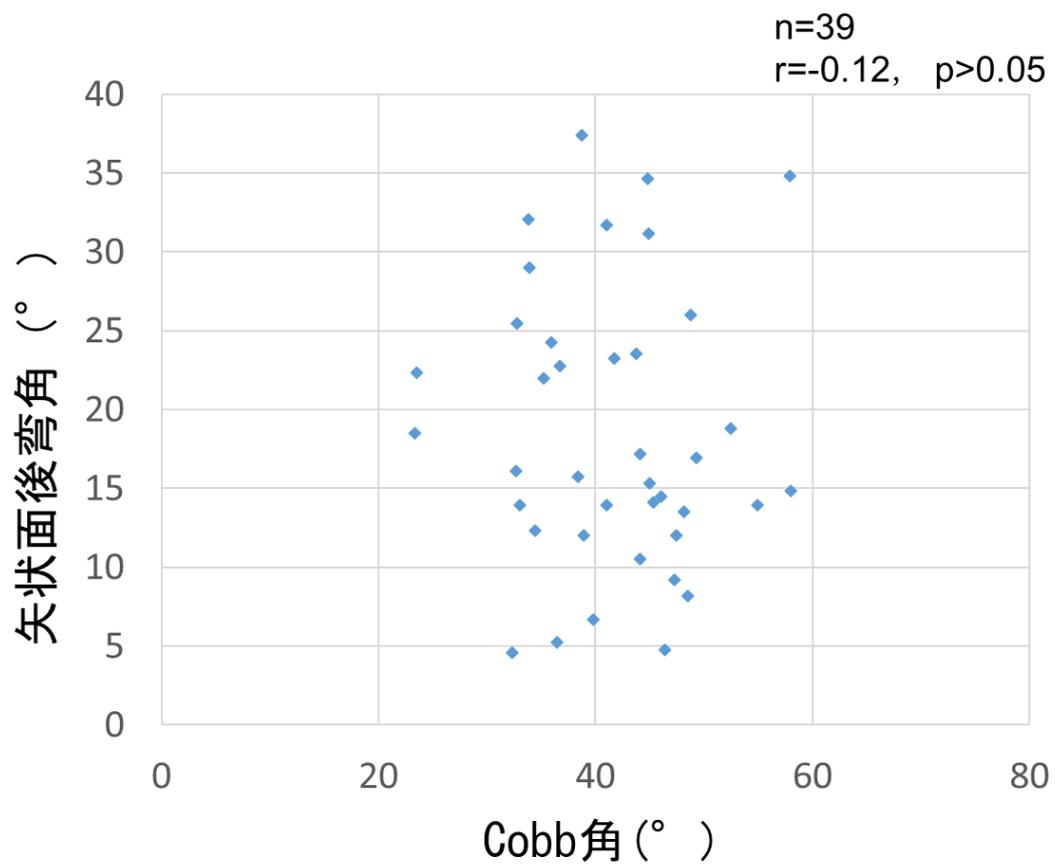


図 3-4 後彎角と Cobb 角の相関関係

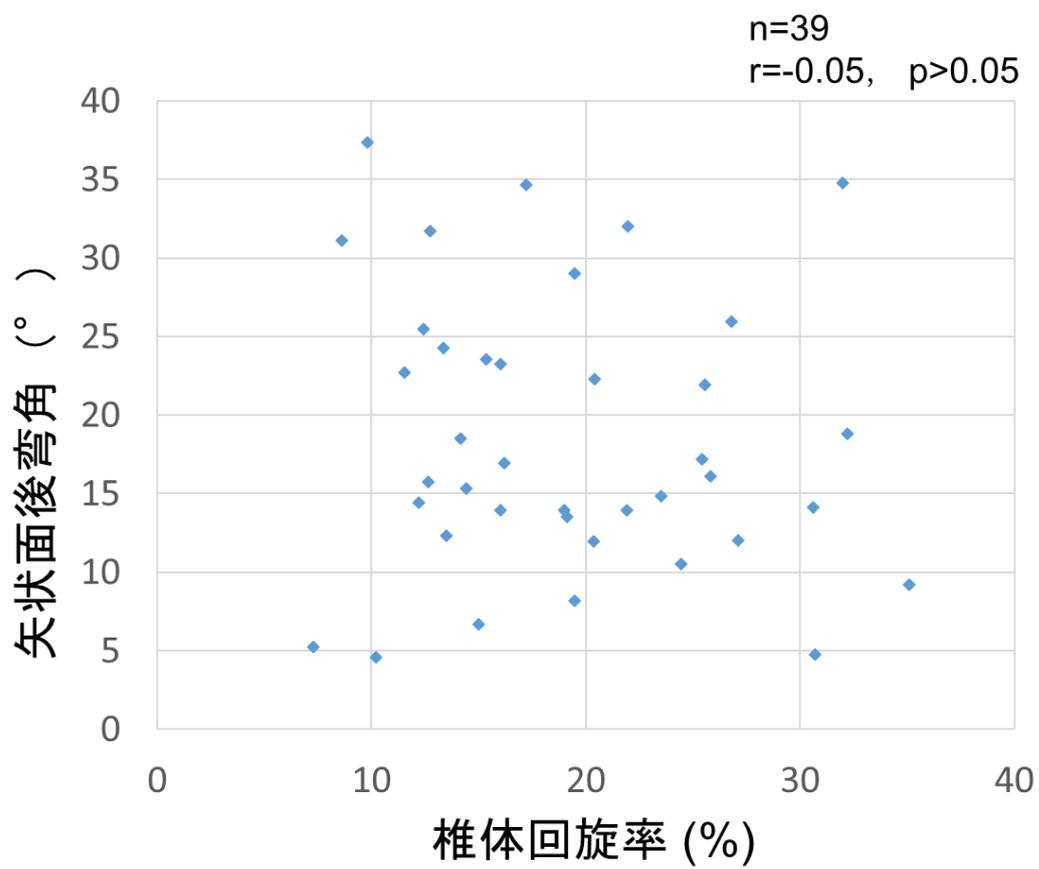


図 3-5 後弯角と椎体回旋率の相関関係

に、それ以外の面で生じる主たる運動に付随した自動的な別の運動が加わることである。この組み合わせ運動は脊柱のすべての運動で生じるように見えるが、側屈と回旋で最も大きい (White et al,1995)。また、軸回旋が本質的に同じ大きさの側屈との組み合わせがみられる (Bogduk N et al,1984) と述べている。このように正常な胸椎の組み合わせ運動は多様であるが、特発性側弯症の人出は側屈と反対側への回旋の組み合わせが系統的に出現する (Oatis,2009) と言われているが、反対側に回旋が生じて、その組み合わせ運動は変わらずに生じていることが分かった。また、Tyrakowski et al,(2017)は、X線で計測した Cobb 角と脊椎の回旋角度を表す肋骨隆起の ATR には正の相関があると述べている。このことから、回旋角度が大きいものは Cobb 角も大きいことが推測できる。

しかし、背臥位において椎体回旋率と Cobb 角に相関が認められなかった。このことは、それぞれの肢位における椎体回旋率と Cobb 角の変化からみると、Cobb 角は背臥位で有意に減少したが椎体回旋率は有意に減少しなかった。また、その減少率をみると、Cobb 角で 80%、椎体回旋率で 93%と差が認められた。これらのことから、背臥位になることで脊柱が伸展されると、側方に弯曲しているものが上下に伸長され側方弯曲が減少すると推測できた。しかし、側弯症では、通常凸側の胸郭が後方に突出部し、この突出部が床面に接触することで回旋が減少するが、平均値からすると標準偏差も 5.5%と高く、その減少率が各個人によって差が大きい。このことから、個人の胸郭の柔軟性の違いにより、肋骨隆起の減少率が異なるため、背臥位では相関が認められなかったと考える。

次に、矢状面から計測される後弯角との関係について検討する。特発性側弯症の患者で胸椎カーブの場合、矢状面における胸椎の平坦化から前弯になっていくことが観察される (Dickson R.A et al,2003)。特発性側弯症では、矢状面での変化も生じること報告されているが、矢状面の姿勢の逆転を伴う特発性側弯症では、関節の方向性は全く同じであるが、軸回旋の中心は椎体にあるものが棘突起の付け根に移動する。その結果、脊椎は不安定となり、変形する力に抵抗できなくなる (Burwell R.G,2003)。これにより胸椎の前弯化の増加により側屈や回旋がさらに進行することが推測できる。これらのことから、特発性側弯症における脊椎変形は常に三次元的に観察する必要があると考えており、その変形にはそれぞれ何らかの関係性があると考え今回の検証を行った。

結果から、手術適応となる程の強度な側弯を有する者では、前額面における Cobb 角が大きいほど、椎体回旋率も大きく、胸椎における側屈と回旋には一定の関係性が認められた。正常な胸椎の組み合わせ運動は多様であるが、特発性側弯症の人は側屈と反対側への回旋の組み合わせが系統的に出現する (Otis,2009)。伝統的な側屈は軸回旋との軸回旋は側屈との組み合わせであり、この組み合わせは関節突起の形態に基づいている。側屈時は、同側方向の下関節突起が下位椎体の上関節突起を滑り下りると、後方に移動しなければいけなくなり、同側方向の回旋が生じるため、側屈と回旋は同じ方向の組み合わせで生じる。頸椎や上位胸椎は組み合わせ運動が類似している。胸椎を全体的にみると、組み合わせ運動は広範囲ではなく、より多様である。中位、下位胸椎での側屈は、同側回旋あるいは対側回旋のどちらかが付随す

る。領域における脊椎分節運動の相違は、椎間関節の方向性の相違が大きく関係している。典型的な胸椎の関節面では、上関節窩が後方かつやや外側を向き、下関節窩は前方かつやや内側を向いており、下位にいくにしたがって次第に垂直な配列となっている(Pal G et al,2001)。この関節面の傾斜の角度が個人によって異なるため、側屈と回旋の組み合わせ運動が胸椎では定まらなると考えられる。つまり、胸椎の矢状面での前弯が増強すると、関節面が垂直線を越えると、側屈時は、同側方向の下関節突起が下位椎体の上関節突起を滑り下りると、前方に移動することになり、反対側方向の回旋が生じ、側屈と回旋は逆方向の組み合わせで生じる。しかし、矢状面の後弯角と Cobb 角および椎体回旋率には相関が認められなかった。後弯角は $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ が正常とされており、非常にその形状は個人差が多いことが分かる。今回対象とした特発性側弯症患者は、全例 X 線撮影後に手術を行っている。Cobb 角は平均 41.6° 、椎体回旋度の推測値としては、我々の先行研究から回旋率が 15%では、おおよそ 7° の回旋が認められ、その後 5%増加するごとに 3° の回旋が増加していると推測しており、今回の回旋率が 19.2%であるため、約 10° の回旋が生じており、側弯変形は強度である。後弯角は、全 39 例でその範囲は $4^{\circ} \sim 37^{\circ}$ 、平均は 18.5° であった。正常範囲である 10° 未満の者は 6 名おり、全体としてもやや前弯傾向はあるものの、多くは正常範囲であり、全例に胸椎前弯化は認められていなかった。

特発性側弯症によって逆転してしまった矢状面の姿勢を強制するだけで前額面の側弯の矯正に影響を与える (von Loon P.J et al,2008)ことが示されている。また、胸椎の前弯化は、側方への偏位と回旋が表れる前に出現する (Weiss H.R,2018)と報告

されており、運動療法においても矢状面の修正は非常に重要視している。しかし、今回の結果から、高度な特発性側弯症における胸椎後弯角の減少の程度と Cobb 角および回旋角の大きさは相関しないと推測された。特発性側弯症は、三次元的変形を生じるが、それぞれの角度は異なる傾向があるため、画像評価では常に三次元的に経過観察を行う必要があると考えられた。

4-5. まとめ

考案した椎体回旋角度を計測する方法を用いて、特発性側弯症患者の前額面及び水平面の胸椎アライメント変化の特性を、背臥位および立位それぞれにおいて Cobb 角と椎体回旋率の相関を求めた。また、背臥位と立位のそれぞれの値を比較した。

さらに、Cobb 角と矢状面における後弯角、椎体回旋角度との相関について検討した。

その結果、立位において Cobb 角と椎体回旋率に正の相関が認められた。また、背臥位と立位では Cobb 角では有意な差が認められたが、椎体回旋率には差が認められなかった。さらに、立位において矢状面での後弯角とも関係性を検討したが、特にそれぞれの値の相関は見られなかった。

以上のことから、側弯症の脊柱アライメントの画像評価において、一つの値の経過を追うだけでなく、三次元的に常に観察して経過治療を行うことが重要であることが分かった。

第4章 体表から計測する体幹回旋角度の有効性

4-1. 目的

実験2で検証した画像での検証に加え、体表から観察した肋骨隆起の角度がCobb角や椎体回旋角度の大きさを示す指標として正しいのか検証した。

2016年4月より運動器検診が開始されたが、それに伴い滋賀県大津市の小中学校生28000人において側弯症の二次検診受診者が900名から1649名へと1.8倍に増加したと報告(麻生, 2017)するなど、全国でも側弯症の発見率が上がっていることが報告されている。検査項目には前屈時の背部の高さの左右差の有無を判定する前屈テストがある。この背部の高さの左右差により生じる隆起は、肋骨隆起と呼ばれ、臨床の場において、側弯症のスクリーニングテストとして使用されることも多い。前屈テストは重要であり、脊柱の回旋によって生じる肋骨隆起や腰部隆起が明らかな場合には側弯の存在を強く疑う(松本, 2014)。としているが、その有効性については様々な見解がある。健常成人において、 0° の者はおらず平均 3.9° の肋骨隆起がある(森ら, 2013)。また、小笠原(2014)は $0^{\circ} \sim 4^{\circ}$ を正常範囲、 $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ を中等度、 7° 以上を高度側弯とし、この肋骨隆起が 7° 以上はCobb角 30° に相当するとした。しかし、肋骨隆起とCobb角との相関の低さを指摘する(Grosso et al, 2002)など見解が分かれている。

そこで、体表からの肋骨隆起の角度が、Cobb角および椎体回旋角度と相関があるのか、また、その回帰性について検証した。

4-2. 方法

4-2-1. 対象

経過観察中の特発性側弯症の女性 23 例とした。平均年齢 14.8 ± 2.6 歳であった。対象椎体は、胸椎カーブの頂椎とし、第 7 胸椎 4 名、第 8 胸椎 12 名、第 9 胸椎 6 名、第 10 胸椎 1 名で、すべて右凸カーブを有していた。前屈テストでの背部の回旋角度 (angle of trunk rotation : ATR) と同日に撮影した脊椎立位正面 X 線画像から、Cobb 角、椎体回旋率をデジタル画面上で計測した。

本研究は、経過観察中の診察に必要な X 線画像を使用したもので、研究のための検査は行っていない。また、患者の個人情報など特定できないデータのみ使用するよう十分配慮した。

4-2-2. ATR の計測方法

安静立位にて、両足を閉じそろえた状態で両手を合わせ、その指先を両膝の中央を通るように前屈した。最大に肋骨隆起が認められる背部において、スコリオメーターを使用し計測した (図 1-5)。

4-2-3. Cobb 角の計測方法

Cobb 角は、胸椎部の頂椎の上下で最も傾斜している椎体外縁から直線を延ばし、その交点の成す角度を計測した (図 2-1)。

4-2-4. 椎体の回旋角度の計測方法

椎体の回旋角度は、心臓胸郭比の計測ツールを利用した。右回旋している椎体において、椎体両端の距離 (b) で、椎体右側端と右椎弓根の中央との距離 (a) を除して百分率で表した (図 2-2)。

4-2-5. 統計処理

ATR と Cobb 角および椎体回旋率ともに同一検者が 3 回計測した平均値を採用した。統計学的分析は、SPSS (version21.0 ; IBM 社製) を使用し有意水準は 5 % とした。検者内信頼性の検討には、級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient : ICC) を用いた。ピアソンの相関係数を用いて ATR と Cobb 角および椎体回旋率の値の相関を求めた。

4-3. 結果

ATR は、平均 $9.0 \pm 3.9^\circ$ であった。また、Cobb 角は 34.4 ± 10.0 、椎体回旋率は 19.7 ± 8.0 であった。

ATR と Cobb 角の計測値には有意な正の相関を示した ($r=0.535$, $P<0.05$) (図 4-1)。また、ATR と椎体回旋率にも有意な正の相関を示した ($r=0.525$, $P<0.05$) (図 4-2)。

ATR 約 5° で、Cobb 角約 30° 、椎体回旋率は 15% となることが推測された。また、その後 ATR 1° ごとに Cobb 角が約 1.5° 、椎体回旋率 1 % ずつ増加すること

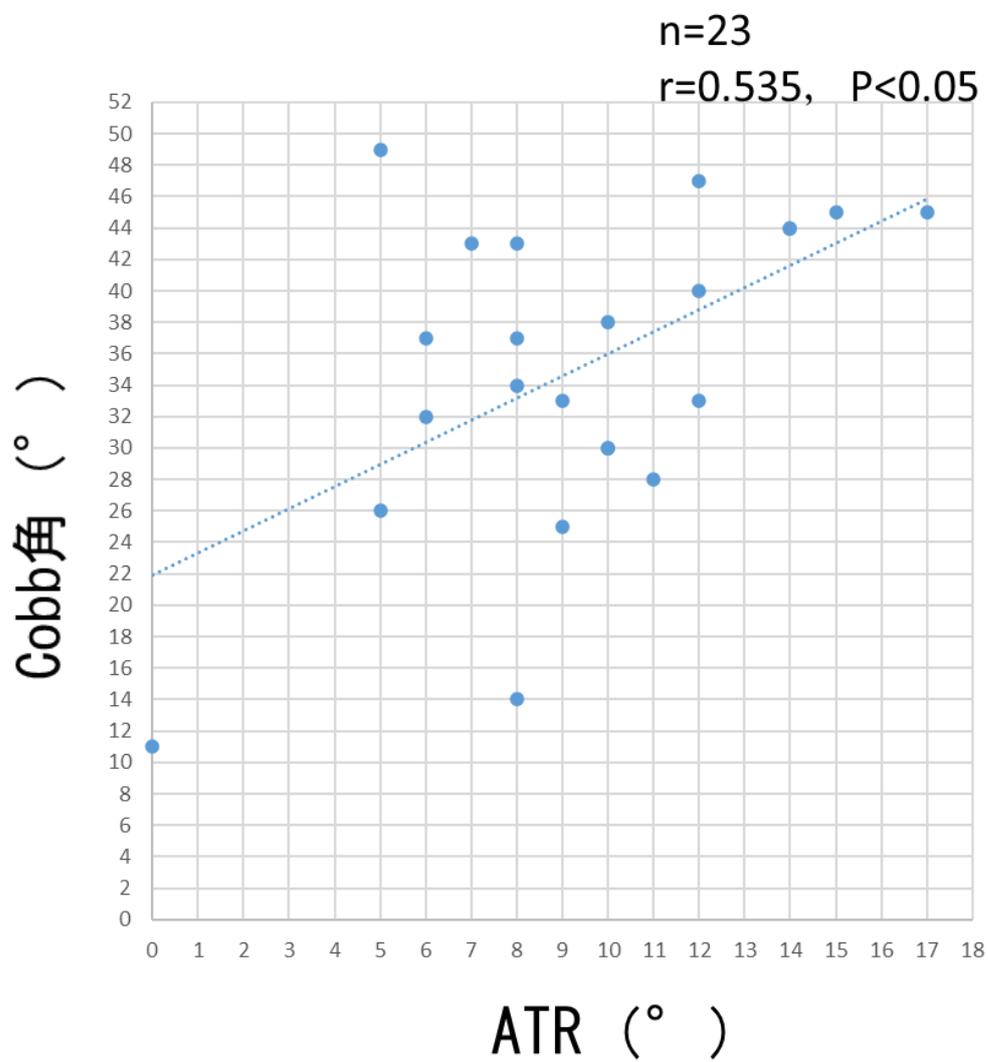


図 4-1 Cobb 角と ATR の相関関係

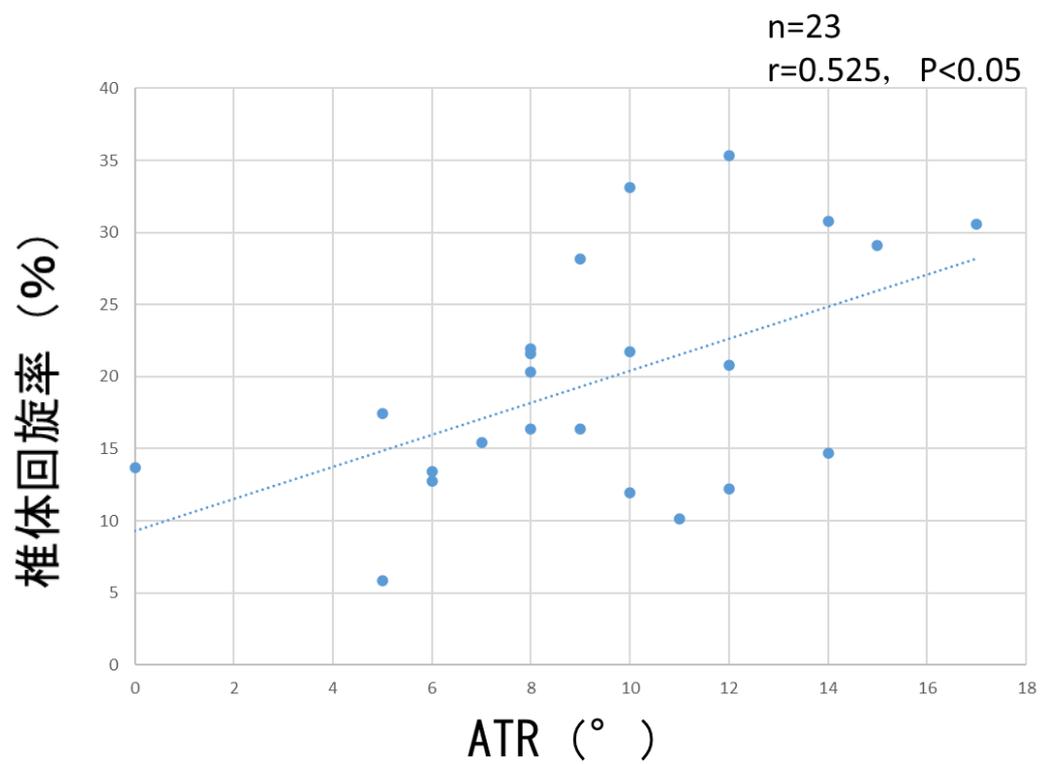


図 4-2 椎体回旋率と ATR の相関関係

も推測できた。ICC は、ATR で 0.99 と Cobb 角、椎体回旋率で 0.97 であった。

4-4. 考察

側弯症の 1 次検診では、従来より学校検診において校医による視触診、モアレ検査が行われてきた。視触診においては肩の高さ、肩甲骨の突出、脇線の非対称、ウエストラインの非対称がチェックポイントとして定められ、さらに前屈テストによる肋骨隆起や腰部隆起の判定が行われる（南，2015）。2016 年より開始した運動器検診の検査項目にもある前屈テストは、それ以前に行われていた学校検診や、側弯症診断においてもスクリーニングテストとして行われている。

前屈テストによる生じる背部の回旋角度（angle of trunk rotation : ATR）は、5° で Cobb 角 20° と相関していると報告している（Bunnell,1984）。しかし、ATR をスコリオメーターのみで側弯計測を行うことはすべきでないとしている（Amedt et al,1990）。ATR7° の場合、脊柱はほぼストレートないし Cobb 角 10° より小さいと報告（Grivas2007）し、スコリオメーターで計測した ATR は Cobb 角と相関していることを報告している（Tyrakowski et al,2017）。これら、さまざまな見解が示されているが、現在においても前屈テストは側弯症のスクリーニングテストとして広く行われている。

今回の結果より、ATR の増加に伴い、Cobb 角および椎体回旋率は増加したことから、体表から計測する ATR は側弯症を有する可能性を判断するテストとして有効性が示された。また、（Bunnell,1984）が示した角度より、我々が出した結果では ATR

約 5° で、Cobb角約 30° と 10° 大きかった。これには、前屈テストを行う姿勢が定義されていないことも一因と考えられるが、健常成人におけるATRの角度が平均 3.9° を示した報告(森ら, 2013)はしており、また、視診による一次検診は感度が84.37%と報告(Karachalios et al, 1999)されていることから、必ずしもATRが側弯症を示すとは言い切れない。しかし、ATR 1° 増加ごとにCobb角約 1.5° 、椎体回旋率1%ずつ増加することも確認できたことから、ATRは側弯症を検出するスクリーニングテストとしては有効であることが推測できた。

4-5.まとめ

側弯症のスクリーニングテストとして使用されている前屈テストにおいて、体表から計測する肋骨隆起の角度であるATRが、X線画像から計測したCobb角および椎体回旋角度と相関があるのか、また、その回帰性について検証した。

その結果、ATRとCobb角、ATRと椎体回旋率ともに有意な正の相関を示した。また、ATR約 5° で、Cobb角約 30° 、椎体回旋率は15%となり、その後ATR 1° ごとにCobb角が約 1.5° 、椎体回旋率1%ずつ増加することも推測できた。これらことから、側弯症を早期に発見するために行う前屈テストで計測するATRは、側弯症を検出するスクリーニングテストとして有効であると考えられた。

第5章 総括討議

5-1. 側弯症における画像評価方法の検証と問題点

本博士論文では、側弯症における脊柱の三次元的変化の特性を捉えることを目的とした。その目的を達成するために、二次元である X 線画像を三次元的に分析できる方法を検証する必要性があった。脊柱側弯症の罹患者は、成長期の幼小児であるため、放射線被曝量を考慮した X 線や CT 検査を施行すべきである。近年、放射線被曝量を低減化した EOS system が (Dubousset et al,2010) によって開発されたが、非常に高価で日本にはまだ数台しかない。そのため、経過観察を行う必要がある患者は、CT 撮影は初診を除けばほとんど行うことはなく、X 線撮影を定期的に行っているのみである。そのため、前額面の X 線画像において Cobb 角のみ計測し、側弯症の進行度を判断しているのが現状である。しかし、特発性側弯症は、構築性かつ三次元的な側弯カーブであり、原因不明の側弯症 (井上, 2016) であることから、三次元的な変形を観察する必要がある。そこで、本博士論文では、まず正面 X 線画像から椎体の回旋角度を計測する方法を考案し、その有効性を検証した。

実験 1 では、正面 X 線画像から椎体回旋角度を計測できる方法について、CT 画像から求めた椎体回旋角度と比較しその信頼性を検討した結果、2つの計測値は強い相関を示したことから、考案した椎体回旋角度を推測する方法は有効性が高い方法であること示した。このことは、これまでに行われていなかった方法であり、椎体回旋角度を定量化できることは新規性が高いと考える。また経過観察時に撮影する X 線から計測できる簡便さ、そして比較的被曝量の少ない X 線から計測できる点も

患者の身体的負担が少なく臨床的有用性は高い。さらに、椎体回旋角度の推測値としては、椎体回旋率が15%では、おおよそ7°の回旋が認められ、その後5%増加するごとに3°回旋が増加していると推測できたことは新規である。

実験2では、背臥位と立位でのX線画像において、実験1で有効性が確認できた椎体回旋角度と、Cobb角の関係性について検討した。さらに、立位での椎体回旋角度およびCobb角、そして後弯角の3つの値の関係性について検討し、脊柱の三次元的変形の特徴について検証した。ここでは、立位でのみ椎体回旋角度とCobb角に正の相関が認められた。背臥位のCobb角は、立位のCobb角に比べ小さく、約80%であった。しかし、椎体回旋角度は背臥位と立位では有意な差がなく、減少率も91%であった。このことが、背臥位でのCobb角と椎体回旋角度に相関が認められなかった要因と考えられる。つまり、立位から背臥位になることで脊柱が伸展し、それによって脊柱が上下に伸長され側方への彎曲が減少し、Cobb角が減少したと考えられた。しかし、脊柱の伸展に伴い回旋は減少しないことが推測された。

立位において椎体回旋角度とCobb角は正の相関が認められたが、後弯角とこれら2つの値の相関は認められなかった。このことは、高度な特発性側弯症における胸椎後弯角の減少の程度とCobb角および回旋角の大きさは相関しないと推測された。このことは、これまで特発性側弯症は後弯角が減少し、Cobb角そして回旋角が増大するとされていたが、それらはすべて同程度に生じない可能性が示唆され、この身体的変化の特徴を明らかにしたことは新規性が高く、臨床的意義も大きいと考える。

これらのことから特発性側弯症は、三次元的変形を生じるが、それぞれの角度は異なる傾向があるため、画像評価では常に三次元的に経過観察を行い、運動療法を展開する必要があると考えられた。

5-2. 側弯症のスクリーニングや診断における前屈テストの有効性と展望

2016年より運動器検診開始後の学校検診による側弯症の発見の割合が44%から75%まで増加していた。発見時年齢は低下し、主カーブ Cobb 角は小さくなっていた（伊藤田ら，2019）と報告され、側弯症の受診率が上がっている。

側弯症の学校検診において、肋骨隆起はスコリオメーターやハンブメーターなどの機器を使用すればより具体的に数値で指摘可能であるが、検診対象数が多く、測定操作による誤差などを考慮すれば、検診では校医の視診で変形を抽出することが勧められている（泉，2014）。また、特発性側弯症と診断されたにも関わらず、家庭で行った簡単な検査による調査票記入時に異常を指摘できていなかった症例は52%であった（伊藤田ら，2019）。このように、学校検診や運動器検診においても、側弯症の一次検診での発見には問題があるものの、前屈テストは共通して長く使用されている。前屈テストで判断するのは、側弯症の凸側に出現する肋骨の隆起の有無である。この肋骨隆起は Cobb 角と相関関係があり、Cobb 角 20° 以上の彎曲は左右の背部の高低差は8~10mm以上（泉，1985）としている。また、スコリオメーターで傾斜角 7° 以上が Cobb 角 30° 以上に相当し、スコリオメーター 5° は Cobb 角 10° に相当する（小笠原，2014）とも述べている。

様々な検査には指標が非常に重要であり、正常値と異常値の指標がない検査はその信頼性に欠ける。この前屈テストでは、健常成人においても 0° ではなく、平均 3.9° の肋骨隆起が認められると報告している。

実験3における結果では、ATRが平均 9.0° あり、明らかに異常な数値であった。ATR約 5° で、Cobb角約 30° 、椎体回旋率は15%となることが推測され、その後ATR 1° ごとにCobb角約 1.5° 、椎体回旋率1%ずつ増加することも推測できたことは、先行研究と異なる数値であり、新たな指標を提示できたことは新規性が高く、家庭内や学校検診の場においても利用でき有用性が高いと考えられた。

前屈テストからATRを計測することで、Cobb角が推測でき、側弯症のスクリーニングテストとしては有用だが、今後は側弯症の悪化や改善に伴い、ATRが増減するのかわかれば、様々な治療効果の判定にも有用な方法であることが示せると考える。

5-3.側弯症の理学療法への応用

理学療法士による運動療法に関しては、近年シュロス法やピラティス等側弯凹側である体幹のストレッチ等を中心とした運動療法が試みられてきているが、いまだその有効性に関するエビデンスはない(川上, 2017)。明確な治療効果が示されておらず特発性側弯症に対して運動療法を施行することは少ない。しかし近年、(Kuru et al, 2015)は、理学療法士の指導の下、6週間(週3回、1回1.5時間)のシュロス法を行うことで、Cobb角 -2.53° 、回旋角度 -4.23° の改善がみられたと報告している。

このように、側屈と回旋の改善については、分けて考えることが運動療法でも重要である。特発性側弯症では、回旋と側屈が同時に起きる連結運動により形成される脊柱変形であり、その変形は病気の進行とともに複雑となる。大きく弯曲した脊柱では、棘突起は凹側へ回旋・偏位し、椎体は凸側へ回旋するが、今回の結果から前額面における Cobb 角が大きいほど、椎体回旋度も大きいことが推測され、矢状面での後弯角との関係をないことが分かったため、側屈と回旋は分けて運動療法を実施するのではなく、常に両方を観察し、そして後弯角に注意し三次元的に施行していくが重要ではないかと考えられた。

結論

これまで、特発性側弯症の診断や進行度は、前額面における X 線画像から計測する脊柱側屈角である Cobb 角の大きさによって判断されてきた。しかしながら、特発性側弯症は原因が不明で、その臨床的所見は、脊柱が側屈だけでなく回旋や前後弯する三次元的変形が生じる疾患であり、三次元的変化は様々である。X 線画像では、前額面の側屈角、矢状面からの後弯角の計測は容易であるが、水平面における回旋は定量的な計測が確立していなく、CT や MRI といった患者の身体的負担の大きな検査が必要であった。しかし、X 線画像は立位でも計測できるが、CT や MRI は臥位で撮影するため、側弯症の進行度を判断する検査としては向いていない。

そこで、本論文では特発性側弯症の脊柱変形を三次元的に分析するため、まず正面 X 線画像から水平面における椎体回旋角を容易に計測できる方法を考案し、その有効性を CT 画像と比較して検証した。次に、確立した椎体回旋角を計測する方法を用いて、前額面における Cobb 角と矢状面における後弯角との関係を検証し三次元的な脊柱の変形を分析した。さらに、体表から観察される ATR と X 線画像における Cobb 角や回旋角との関係を検証し、側弯症の早期発見におけるスクリーニング検査の有効性と回帰性を示すことを目的とした。

1. 椎体回旋率と CT 回旋度には強い正の相関があったことから、今回行った方法により脊椎正面 X 線画像から椎体の回旋角度の計測は信頼性がある測定方法であると言える。回帰直線から、椎体回旋角度の推測値としては、椎体回旋率が 15%では、おおよそ 7° の回旋が認められ、その後 5%増加するごとに 3° 回旋が増加してい

ると推測できた。

2. 立位において Cobb 角と椎体回旋角度の正の相関が認められたが、胸椎後弯角の減少と Cobb 角および回旋角の大きさは相関しなかった。このことから、側弯症の脊柱アライメントの画像評価において、一つの値の経過を追うだけでなく、三次元的に常に観察して経過治療を行うことが重要であることが分かった。

3. ATR と Cobb 角、ATR と椎体回旋率ともに有意な正の相関を示した。また、ATR 約 5° で、Cobb 角約 30° 、椎体回旋率は 15% となり、その後 ATR 1° ごとに Cobb 角が約 1.5° 、椎体回旋率 1% ずつ増加することも推測できた。これらのことから、側弯症を早期に発見するために行う前屈テストで計測する ATR は、側弯症を検出するスクリーニングテストとして有効であると考えられた。

本博士論文では、特発性側弯症の脊柱変形を三次元的に分析し、それぞれの関係性を明らかにするため、これまで定量的に計測方法が確立されていなかった椎体の回旋角を計測する方法を考案しその有効性を示した。そして、前額面における Cobb 角だけで特発性側弯症の進行度が判断されているため、三次元的な脊柱変形を分析し、その必要性を示した。また、早期発見のために行われているスクリーニングテストである前屈テストで計測する ATR と脊柱の Cobb 角や回旋角に相関があることから、臨床的に有効であることと、ATR との回帰性を示せたことから、体表から ATR を計測することで、身体的負担が少なく進行度を推測できることを明らかにした。

本研究の結果は、特発性側弯症における X 線画像評価から脊柱変形を分析し、個々

にあった運動療法を実施すること，そして身体的負担の少ない経過観察を行うための一助になると考える。

謝辞

本博士論文の執筆を終えるにあたり、博士課程後期課程 2 年間にわたって懇切丁寧な研究指導、親身なご助言を賜った京都工芸繊維大学大学院・来田宣幸教授に深甚なる謝意の意を表します。来田教授には入学前より親身にご助言を賜り、本研究の遂行に加え、コロナ禍にも関わらず様々な工夫をしていただき長期間にわたり、絶え間なくご指導いただきましたことを心より感謝いたします。

京都工芸繊維大学大学院・野村照夫教授には研究指導だけでなく、多角的な面から臨床における示唆や、様々な最新の知見から適切にご指導くださいましたことに、心から感謝いたします。

今津病院整形外科・瀬本喜啓院長には、研究デザインや論文の執筆の助言など常にいただいたこと深く感謝いたします。

京都工芸繊維大学大学院の生体行動科学研究室をはじめとする大学院生、今津病院の患者様ならびにリハビリテーションセンターのスタッフの皆様、びわこリハビリテーション専門職大学の職員の皆様には、様々な面でご協力いただきました。謹んで皆様に感謝いたします。

参考文献

Aaro,S.,Dahlborn,M.,Svensson,L(1978).Estimation of vertebral rotation in structural scoliosis by computer tomography. *Acta Radiologica Diagnosis*, 19,990–992.

Amendt,L.E.,Ause-

Ellias,K.L.,Eybers,J.L.,Wadsworth,C.T.,Nielsen,D.H.,Weinstein,S.L(1990).Validity and reliability testing of the scoliometer,*Phys Ther*, 70(2),108-17.

麻生伸一(2017). 滋賀県および大津市の運動器検診の現状. 日整会誌 91 (5), 359-363.

Aubin,C.E.,Dansereau,J.,Petit,Y.,Parent,F.,de Guise,JA.,Labelle,H(1998).Three-dimensional measurement of wedged scoliotic vertebrae and intervertebral disks, *Eur Spine J*,7(1),59-65.

Beauchamp,M.,Labelle,H.,Grimard,G.,Stanciu,C.,Poitras,B.,Dansereau J(1993).

Diurnal variation of Cobb angle measurement in adolescent idiopathic scoliosis,*Spine*,18,1581-1583.

Bogduk,N.,Major,G.A.,and Carter,J(1984).Lateral subluxation of the atlas in rheumatoid arthritis: a case report and post-mortem study. *Ann Rheum Dis*,43(2), 341–346.

Bunnell(1984).An objective criterion for scoliosis screening.J *Bone Joint Surg*, 66(9),1381-7.

Cobb,J.R(1948).Outline for the study of scoliosis.The American Academy of

Orthopedic Surgeons Instructional Course Lectures, Vol5, Ann Arbor, MI.

Dickson, R.A., Lawton, J.O., Archer, I.A., Butt, W.P (1984). The pathogenesis of idiopathic scoliosis. Biplanar Spinal asymmetry, *J Bone Joint Surg*, 66(1), 8-15.

Dubousset, J. (1992). International Symposium on 3D Scoliotic deformities joined with the VIIth International Symposium on Spinal Deformity and Surface Topography. Edited in Germany, Gustav Fisher Verlag, 302-311.

Dubousset, J., Charpak, G., Skalli, W., Deguise, J. (2010). EOS: A new imaging system with low dose radiation in standing position for spine and bone & joint disorders, *Journal of Musculoskeletal Research*, 13(01), 1-12.

古谷正博(2016). 運動器検診はじまる. 臨整外 51, 853-858.

Grosso, S., Negrini, S., Boniolo, A., Negrini, B. (2002). The validity of clinical examination in adolescent spinal deformities. *Stud Health Technol Inform*, 91, 123-5.

井上雅俊(2016). 脊柱側弯症における X 線所見と装具治療の効果. 日本義肢装具学会誌, vol32, No3, 198-204.

伊藤田慶, 林田光正, 播谷勝三, 川口謙一, 岡田誠司, 松下昌史, 幸博和, 飯田圭一郎, 中島康晴(2019): 思春期特発性側弯症患者の発見理由は運動器検診開始後に変化したか. 整形外科と災害外科 68 (4) 795-798.

泉恭博(1985). シルエット (自動体型撮影器). 整形外科画像診断学. 南江堂, 268-279.

泉恭博(2014). 学校検診, 側弯症治療の最前線—基礎編—. 医薬ジャーナル, 東京,

108-112.

Karachalios,T. , Sofianos,J. , Roidis, N., Sapkas, J., Korres, D., Nikolopoulos K(1999).Ten-year follow-up evaluation of a school screening program for scoliosis. Is the forwardbending test an accurate diagnostic criterion for the screening of scoliosis?,*Spine*,2(4),2318-2324.

Kado,M.,Prenovost,K.,Crandall,C(2007).Narrative Review: Hyperkyphosis in Older Persons.*Annals of Internal Medicine*,47 (5) ,330-338.

川上紀明(2016).学校健康診断における側弯症検診の現状と課題. 整・災外, 59, 1719-1726.

Kumer,K(1996).Spinal deformity and axial traction.*Spine*5,653-655.

Kuru,T.,Yeldan,I(2016).The efficacy of three-dimensional Schroth exercises in adolescent idiopathic scoliosis.*Clin Rehabil*, 30(2),181-190.

町田正文, 長谷川淳, 飯塚慎悟, 名越慈人, 三宅敦, 藤吉兼治, 八木満, 金子真二郎, 竹光正和, 塩田国宣, 臼井宏(2012). 特発性側弯症. IRYO, Vol66. No8. 398-406.

松本守雄(2014). 児童生徒の脊柱側弯症. 小児保健研究第73巻. 第2号. 265-268.

南昌平(2016). 東京都予防医学協会年報. 2016年版, 第45号, 33-40.

森友実子, 高倉利恵(2013). 理学療法学, Vol40, No2, 111.

守安健児, 松尾慎(2014). 整形外科における理学療法. ガイヤブック, 335.

Nash,C., Moe, J.H(1969).A study of vertebral rotation.*Journal of Bone and Joint Surgery*,51,223-229.

- Neumann,A(2019). 筋骨格のキネシオロジー. 医歯薬出版. 392.
- 野原裕(2012). 脊椎側弯症治療の歴史と現状. 脊椎外科, Vol26, No2, 162-169.
- Oatis,A(2009).Kinesiology.The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement. Edition Lippincott Williams & Wilkins 2nd ed. edition ,534.
- 小笠原敦子(2014). 思春期の脊柱側弯症. ポルトガル南部地域における検討.
- Pal,G.P.,Routal,R.V.,Saggu,S.K(2001).The orientation of the articular facets of the zygapophyseal joints at the cervical and upper thoracic region.*J Anat*,431-441.
- Perdriolle,R.,Vidal,J(1985).Thoracic idiopathic scoliosis curve evaluation and prognosis.*Spine*,10,785-791.
- 鈴木信正(2014). 脊柱側弯症治療の歴史, 側弯症治療の最前線－基礎編－. 医薬ジャーナル社, 16-32.
- Tyrakowski,M.,Czaprowski,D.,Szczodry,M.,Siemionow,K(2017).Cobb angle measurements on digital radiographs using Bunnell scoliometer: Validation of the method.*J Back Musculoskelet Rehabil*30,(4),667-673.
- van Loon,P.J.,Kühbauch,BA.,Thunnissen,FB(2008).Forced lordosis on the thoracolumbar junction can correct coronal plane deformity in adolescents with double major curve pattern idiopathic scoliosis.*Spine*,1;33(7),797-801.
- Watanebe,K.,Hasegawa,K.,Hirano,T.,Uchiyama,S.,Endo,N(2005).Use of the scoliosis research society outcomes instrument to svaluate patient outcome in untreated idiopathic scoliosis patients in japan:part II:relation between spinal deformity and

patient outcome. *Spine*, 30, 1202-1205.

Weiss, H.R., El, Obeidi, N., Lohschmidt, K., Verres, C (1998). Die automatische Oberflächenvermessung des Rumpfes- Technischer Fehler. *Phys Rehab Kur Med*, 8, 117-122.

Weiss, H.R. (2018). *Schroth Therapy: Advancements in Conservative Scoliosis Treatment: Second Edition*. Lambert Academic Publishing, 82-84.

鎧邦芳 (2014). 治療方針の考え方. 側弯症治療の最前線—基礎編—. 医薬ジャーナル, 東京, 129-131.

White, A.A., Panjabi, M.M. (1990). kinematics of the Spine. In: Cooke DB, ed. *Clinical Biomechanics of the Spine*. Philadelphia: JB Lippincott, 85-126.