
脊柱側弯検診及び経過観察用体表計測機材の比較研究

— X線撮影の代用としての意義 —

(研究課題番号 62480314)

昭和62～63年度科学研究費補助金
(一般研究B)研究成果報告書

平成元年3月

研究代表者 竹光義治
(旭川医科大学医学部)

はしがき

昭和62年度から文部省科学研究費補助金（一般研究B）の助成のもとに行われた「脊柱側彎検診及び経過観察用体表計測機材の比較研究 - X線撮影の代用としての意義-」は、2年間の研究期間を終了し、ここに研究成果報告書をまとめることになった。研究計画の全てが達成されたわけではないが、いくつかの新しい有用な知見が得られたと考えられる。報告書をまとめるに当たって、各分野の専門家の方々からの率直な御批判を願うものである。

研究組織

研究代表者:	竹光 義治 (旭川医科大学医学部・教授)
研究分担者:	
・昭和62年度	原田 吉雄 (旭川医科大学医学部・助教授) 岩原 敏人 (旭川医科大学医学部・助手) 熱田 裕司 (旭川医科大学医学部・助手) 渡壁 誠 (旭川医科大学医学部・助手)
・昭和63年度	原田 吉雄 (旭川医科大学医学部・助教授) 岩原 敏人 (旭川医科大学医学部・助手) 渡壁 誠 (旭川医科大学医学部・助手)
研究協力者	徳広 聡 (旭川医科大学医学部・医員) 宮本 守孝 (旭川医科大学医学部・医員) 山賀 慎一 (旭川医科大学医学部・医員) 今井 充 (旭川医科大学医学部・技官)

研究経費

昭和62年度	5 5 0 0 千円
昭和63年度	4 0 0 千円
計	5 9 0 0 千円

研究発表

1. 学会誌等

- 1) 原田吉雄, 竹光義治: 脊柱の加齢変化と腰痛.
総合臨床. 36(12):2553-2558, 1987
- 2) 竹光義治, 原田吉雄, 熱田裕司: 中高年齢者の腰部変性後彎.
整形外科 12: 18-22, 1987
- 3) 岩原敏人, 竹光義治, 渡壁誠ほか: 腰部変性後彎の力学的考察. X線学的検討
—骨盤傾斜と股関節への影響を中心に— 臨床整形外科, 23(7):811-819, 1988
- 4) Y.Takemitsu, Y.Harada, T.Iwahara et al: Lumbar Degenerative Kyphosis.
Clinical, Radiological and Epidemiological Studies.
Spine, 13(11):1317-26, 1988
- 5) 宮本守孝, 竹光義治, 原田吉雄ほか: 先天性側彎症のカーブパターンについて.
脊柱変形 1989 (掲載予定)
- 6) 徳広聡, 竹光義治, 今井充, 他: ISIS - INTEGRATED SHAPE INVESTIGATION
SYSTEM による特発性側彎症体表面三次元形状測定法の研究. 第14回モアレ・
三次元計測研究会抄録集, 9-11, 1989

2. 口頭発表

国内主要学会, シンポジウム

- 1) 竹光義治, 岩原敏人, 原田吉雄他: 脊柱矢状面彎曲、骨盤、股関節肢位の直立
時における正常値と異常パターン.
第73回北海道整形災害外科学会, 昭和62年6月20日
- 2) 原田吉雄, 竹光義治, 橘内勇他: 腰椎後彎症における腰部伸筋の機能的、X線
学的変化について.
第24回日本リハビリテーション医学会総会, 昭和62年6月27日
- 3) 岩原敏人, 竹光義治, 橘内勇他: 特発性脊柱側彎症の体幹筋力.
第24回日本リハビリテーション医学会総会, 昭和62年6月27日
- 4) 原田吉雄, 竹光義治, 柴田稔他: 脊柱側彎症学校検診10年の推移.
第36回東日本臨床整形外科学会, 昭和62年10月24日
- 5) 渡壁誠, 後藤英司, 岩原敏人, 他: ヒト立位姿勢の下肢各筋活動に及ぼす影響.
第74回 北海道整形災害外科学会, 昭和63年1月31日
- 6) 岩原敏人ほか: 腰部変性後彎における脊柱支持筋の変化—正常者の加齢変化と
対比して—. 第61回日本整形外科学術集会, 昭和63年4月2日
- 7) 宮本守孝ほか: 先天性側彎症のカーブパターンについて.
第22回日本側彎症研究会, 昭和63年4月4日

- 8) 徳広聡, 竹光義治, 今井充, 他: I S I S (Integrated Shape Investigation System) による特発性脊柱側弯症体表面三次元形状測定法の研究.
第14回モアレ三次元計測研究会 平成元年1月14日

脊柱側彎検診及び経過観察用体表計測機材の比較研究

— X線撮影の代用としての意義 —

研究成果

脊柱側彎症の学校検診普及にともない、高度例、手術必要例数が著しく減少したが、一方、軽症例が多数発見され、その診断のためのX線検査数が増大したことは集団被爆量からみて問題である。当科では、これまでこのX線被爆量を可能な限り軽減するため、脊柱検診用モアレカメラ（フジノンFM40）を使用して、側彎症、後彎症の体表変形とX線上の彎曲度との相関関係を解析し、その結果を報告してきた。しかし、従来のモアレ法による解析においては、リアルタイムで解析ができない、モアレ像から三次元像の自動構築が困難である、などの問題があった。

1982年、これらのモアレ法の欠点を補うため、OXFORD ORTHOPAEDIC ENGINEERING CENTERにおいて、体表面形状を3次元的に computer 解析する INTEGRATED SHAPE INVESTIGATION SYSTEM（以下、ISISと略する）が開発された。

〔目的〕

本研究の目的は、①ISISおよびモアレが、側彎症外来においてどの程度X線撮影の代用になり得るか、また、②ISISは、FM40を用いたモアレ法に比較しどのような長所、短所があるか、について調査・検討を加えることにより、ISIS・モアレ両方法の欠点をカバーする、より効果的な体表面の三次元計測法（新システム）開発の基礎資料を提供することである。

〔方法〕

1) ISIS

ISISの基本原理について述べる（図1）。

プロジェクターより背面に投影された一筋の光の線を、ある角度をもった方向からカメラでとらえることにより、背面の形状に応じた曲線が得られる。このスキャンニングを上半身全体にわたり行いマイコン上のメモリに取り込む。これらの2次元データと、プロジェクター、カメラのなす角、被写体までの距離から、3次元座標を計算し、解析を行う。実際の撮影においては、まず患者の第7頸椎または第一胸椎から第5腰椎までの棘突起上に10個と、両側の後上腸骨棘（posterior superior iliac spine dimples: 以下PSISと略す）に2個のランドマーカを貼り、患者は両腕を軽く開きバーにのせて安定させ直立した状態でスキャンを行う。

所用時間は、マークつけに約5分、撮影に約1秒、解析とプリントアウトに約5分である。

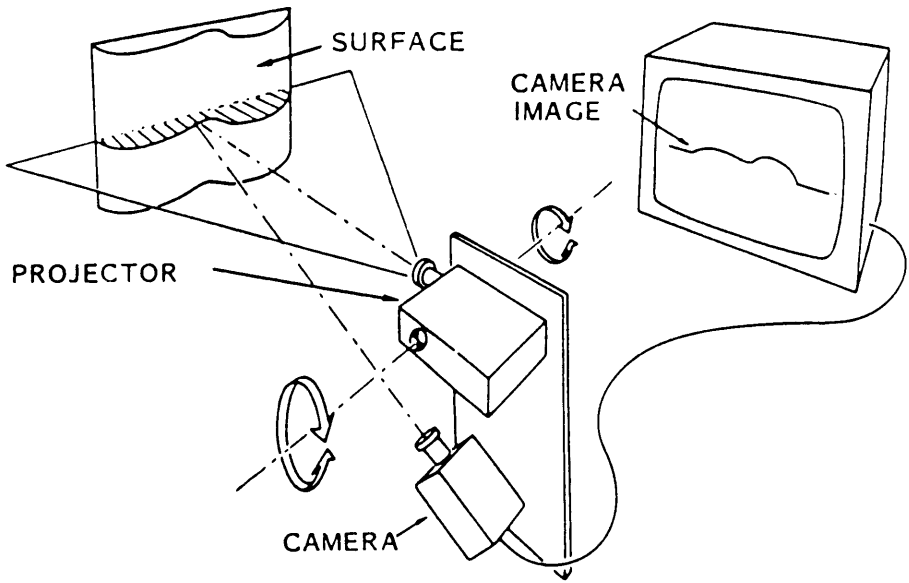


図1. ISISの原理

解析結果は、図2のように3つの部分から構成される。

(a) : 最上部のマーカからPSISまでの10個の等間隔分割面における横断面図であり、右の縦の直線上の数値は、パラサジタルライン間の傾斜（ハンプ傾斜角に相当）を表している。左右高い方に線が引かれ傾斜角が表示される。

(b) : 体幹背面の輪郭線であり、棘突起ラインとPSIS上のランドマーカが+で表される。棘突起ラインを挟んだ左右の線は、最上部と一番下のマーカ間の10%の距離で棘突起ラインに平行に引かれた線（パラサジタルライン）である。体幹下の数値は、PSIS間の midpoint と最上部のマーカから下ろした垂線とのずれを表している。ランドマーカに沿った曲線と数値は、それぞれ側彎カーブの予測ラインと、LAI (Lateral Asymmetry Index: 背面非対称指数) である。このLAIとは、曲線の上下の変曲点における傾きの和であり、X線写真上のCobb角に対応している。

(c) : 矢状面の形状を表している。3本の直線は、PSISを含むコロナル平面であり、中央の曲線は棘突起マーカを通過したラインである。側彎が強い場合、側方偏位が大きくなり、単純な縦断面では、正しく評価できないため、このマーカラインを使用している。左右の曲線は、同様に先ほどのパラサジタルラインである。曲線上の数値は、コロナル平面からの距離であり、この図から後彎・前彎の状態と肋骨隆起の左右差が確認できる。

図3の症例（図2と同一症例）では、胸椎部のLAIは 34° 、胸腰椎部では 35° で、実測のCobb角は各々 35° 、 30° である。

これらのデータはすべてフロッピーデスクに保存され、数か月、数年にわたって収穫された一連の操作記録は即座に呼び出して解析できる。

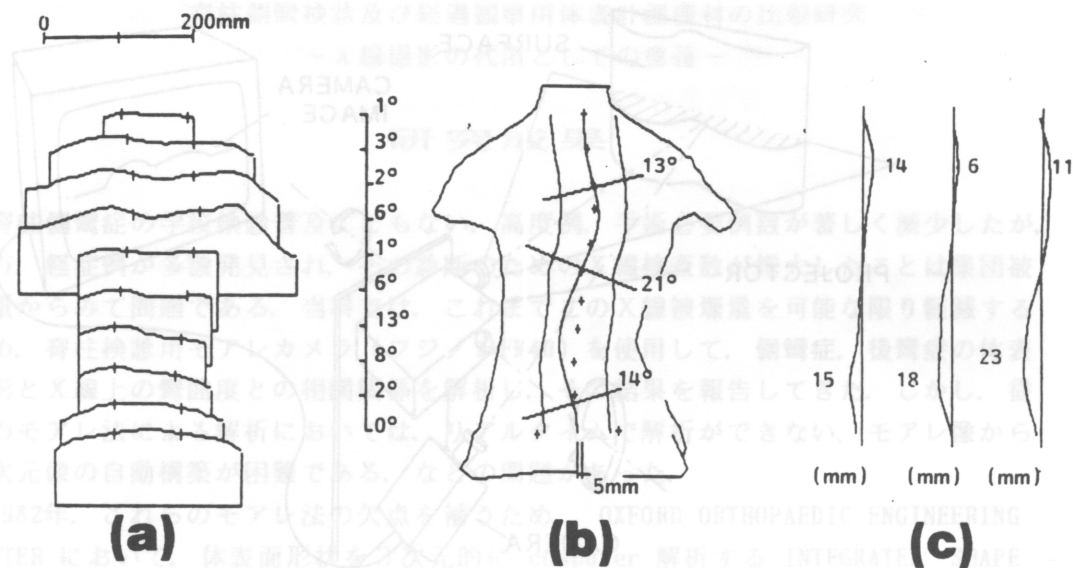
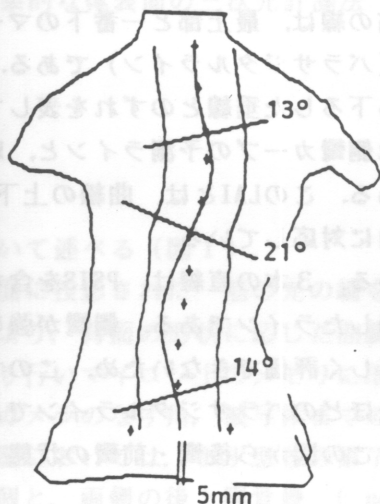


図2. ISIS出力例 15才, 女子 特発性脊柱側彎症

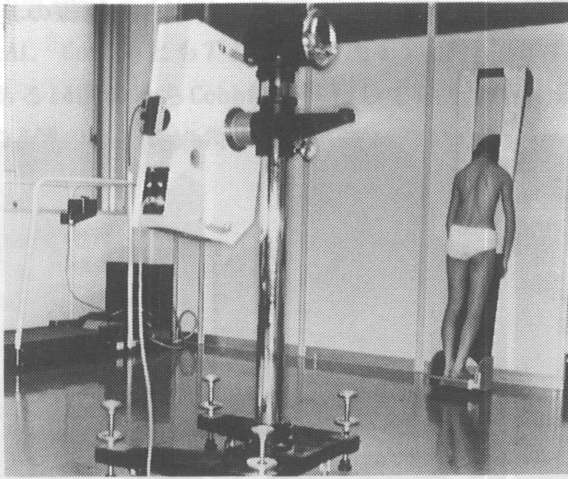


コブ角 35° 30° LAI 34° 35°

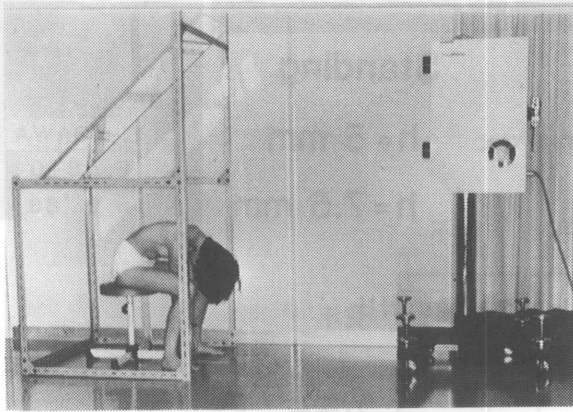
図3. X線写真とISIS出力との対比。(図2と同一症例)

2) モアレトポグラフィー法

本法には、格子投影型と格子照射型があり、当科では格子投影型のフジノンFM40（富士写真光機製）を使用し、外来及び集団検診に用いてきた。本機の1フリッジの幅は5mmであり、実際にはその半分の2.5mmまで読み取り可能である。本法の特長は、ピント合わせ等の撮影操作の煩わしさが少なく誰にでも撮影が簡単にできる固定焦点型である。標準装備35mmカメラで120人/hの撮影が可能である。撮影時の姿勢について図4に示す。平行感覚が未発達な年齢であるため自然立位では不安定で



(a) よりかかり立位



(b) 坐位前屈位

図4. FM40による撮影姿位。

[対象]

1) ISIS

1987年11月から1988年10月までに当科外来でISIS分析を行った対象は、延べ140例229カーブであり、このうち次の3グループについて、解析した。

- ①初診時（未治療）にISISを撮影した特発性側彎症、29例39カーブ。
- ②2回以上ISISを施行した経過観察のみの15例20カーブ。
- ③brace治療を行った15例19カーブ。

2) モアレ法

①2年以上経過観察のできた10才以上の例で15°以上の86カーブをX線上のコブ角とハンブにより分析した。

false positive の像が出やすく不適当であり、(a) よりかかり立位（千葉大式の支持台使用）と、(b) 坐位前屈位の二つの姿位で撮影している。肋骨及び腰部隆起の高さを正確に計測するには前屈位が最もよく、脇線の非対称や腰椎側彎の発見にはよりかかり立位法が優れている。

モアレ写真による片側隆起の計測は、通常ネガのままスクリーンに投影して判定している。最もハンブが高いと思われるところに水平線を引き、棘突起上のマークを中心にしてハンブの頂点（稜線）から反対側対称点との間の縞の数を数えることにより高位差が判明する（図5）。集団検診被撮影者においては、左右の脇線や肩の不均衡を読み取り総合的に要X線撮影者を決定する。

②20°以上の特発性側彎症患者100名、正常者200名のモアレ写真に基づき、脇線の非対称性を分析した。

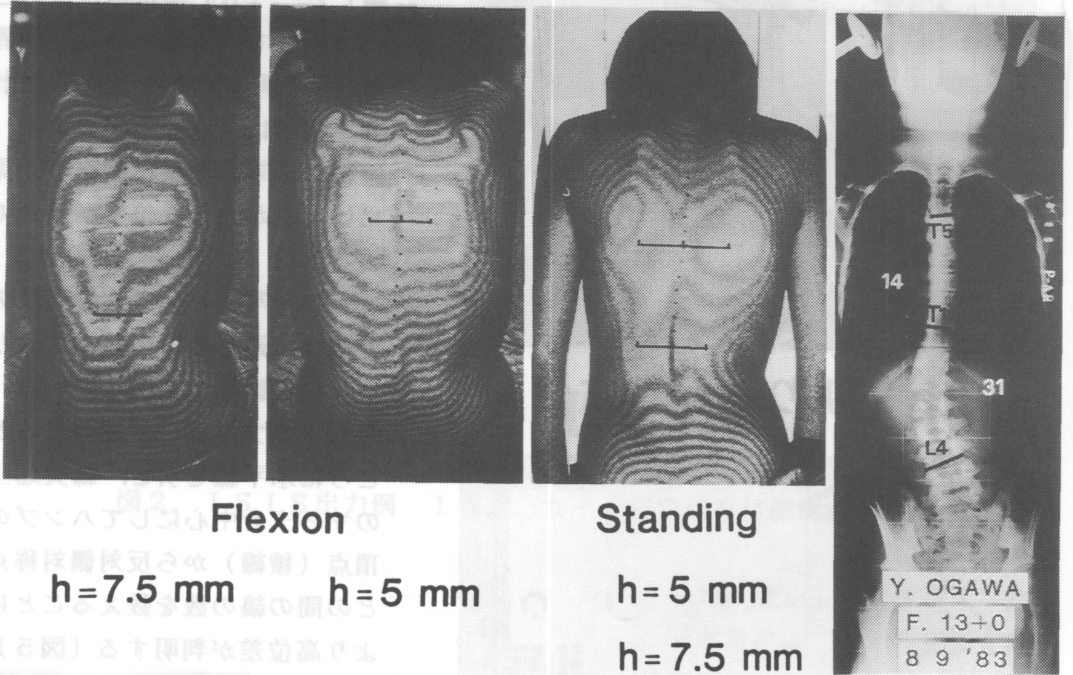


図5. X線写真とモアレ像の対比。

[結果]

1) ISIS

①初診時

全例、10才以上の特発性脊柱側彎症であり、男8名、女21名、計29例39カーブ、平均年齢13才7か月である。胸椎部カーブにおいて、コブ角とLAIの相関係数は0.75であり、胸腰椎部カーブでは同じく、0.65であった。

②経過観察例

男2例、女13例、計15例20カーブ、平均フォローアップ期間が5.7か月である。LAI、Cobb角とも7°以上の増加を”進行”とすると、経過観察例ではLAIが不変であった17例のうちCobb角が進行していたfalse negative例が2例、逆にLAIが進行していた3例のうちCobb角は進行していないfalse positive例が1例であった(表1)。

③brace治療例

男4例，女11例，計15例19カーブ，平均フォローアップ期間が5.5か月である。
LAI, Cobb角とも7°以上の増加を”進行”とすると，ブレース治療例ではLAIが不変である14例のうちCobb角が進行していたfalse negative例が3例，逆にLAIが進行していた5例のうちCobb角は進行していないfalse positive例が4例であった（表2）。

コブ角

		不変	7° ≤ 進行
L A I	不変	15	2
	7° ≤ 進行	1	2

表1. 経過観察群におけるLAIとコブ角の関係

コブ角

		不変	7° ≤ 進行
L A I	不変	11	3
	7° ≤ 進行	4	1

表2. ブレース治療群におけるLAIとコブ角の関係

2) モアレ法

①側彎角7°以上とハンプ高4mm以上の増加を”進行”と判定した。X線写真上及びモアレ写真上の計測により両者とも進行していた true positive 例は 8.1%，両者とも進行しなかった true negative 群は 70.9%，モアレ写真上進行はなかったが，X線計測上進行していた false negative 群は，2例 2.4%，モアレ写真上進行していたがX線写真上は進行していなかった false positive 群は16例 18.6%であった（表3）。即ち，経過観察をX線検査によらずハンプ高の変化をモアレ写真計測のみで行った場合，側彎進行と診断できる率は計算上79.0%である。経過観察上問題になる見逃し率は2.4%であり，体表面計測の限界であると考えられる。

②脇線非対称と側彎角との関係を調べるため，I) 脇線三角における陥凹最低部の位

置の左右差、Ⅱ) 脇線三角の面積比、Ⅲ) 陥凹最低点から背面正中にいたる最短距離の差などの3点について分析した結果、有側彎者(20°以上)と対象群において、Ⅰが危険率0.1%以下でまたⅢが5%以下で有意の差が認められた。(表4)

		コブ角		positive predictive value	
		不変	6° ≤ 進行	7/(7+16)=30.4%	
ハ ン ブ	不変	61	2	negative predictive value	
		70.9%	2.4%	61/(61+2)=96.8%	
	4mm ≤ 進行	16	7	sensitivity 7/(7+2)=77.8%	
		18.6%	8.1%	specificity 61/(61+16)=79.2%	

表3 経過観察群におけるハンプとコブ角の関係

		比較項目	側彎群 (N=200)	健常群 (N=200)	有意差 (p 値)
A		最陥凹点	28.7mm (2.47)	10.4mm (0.82)	0.1%
B		面積比 R-L / (R+L)	13.1% (1.05)	11.8% (0.64)	(-)
C		鉛直線までの長さ R-L	9.3mm (0.74)	7.5mm (0.39)	5%

(±SE)

表4. 有側彎群と健常群における脇線の非対称性の比較

[考察]

側彎症における脊柱変形は、前額面における側彎変形、矢状面における前後彎変形、水平面における回旋変形に分類することができる。これらの評価にはX線計測によるCobb角と、椎弓根及び棘突起をめやすにした回旋度が用いられてきた。しかしながらこれらはいくまでも脊柱における変形であり、側彎症の大きな愁訴である体表面の変形を表現しているとは言えない。また長期にわたる経過観察においては、X線被曝の

問題もある。

外来診療においてはこれら脊柱及び体表面の変形をリアルタイムで、しかも客観性、再現性のある方法で表現することが必要である。我々は非侵襲的なモアレ撮影や、ハンプ高の測定を詳しく行うことにより側彎の進行を推定し、X線撮影回数を減らす方法を検討し報告してきた^{1, 2, 3, 8)}。

その結果はおおむね可能であるが、FM40を用いたモアレ法では像の解析がリアルタイムで行えないこと、3次元像の再構成などに問題がある。ISISは、リアルタイム解析が可能であること、定量的な解析ができるという特徴がある。反面モアレ法と比較すると撮影時間がやや長く、高価格と言える(表5)。

比較項目	ISIS	モアレ
撮影時間	5分	30秒
リアルタイム解析	可能	困難*
3次元像再構成	全自動	半自動
価格比	3	1

表5. ISISとモアレ法の比較

* テレビモニターを用いなかった場合

ISISで得られるLAIは、体表面の形状と棘突起列の彎曲から椎体の彎曲すなわちCobb角を算出しようと考案されたものであり、実測のCobb角との相関について、Turner-Smithらは特発性側彎症の非治療例の胸椎では0.82、胸腰椎では0.88という高い相関係数を報告している¹⁰⁾。我々も相関性はやや劣るものの同様の結果を得ているが、特発性以外の側彎症や、初診時以外の例では、相関性は劣る。brace治療例ではパッドなどにより軟部組織がくぼむため、また手術例では棘突起列が不明確となることなどが関係していると考えられる。

特発性側彎症の非治療例においては、ISISあるいはモアレにより側彎の進行を予測でき、ある程度X線の代用となりうると考えられる。また、X線所見は椎体列の彎曲、変形の原因を示すのに対し、ISISでは体表面の変形を定量化し、美容的愁訴を表現することが可能であるといえる(図6)。つまり主としてCobb角で判断していた治療の基準に、美容的な要素を加えることが可能となる。現在のところ主観的判断による美容上の問題を客観的に表現することが期待され、治療上の指針とされ得る。

Brace治療例においては、体表面の人為的な凹凸のために、変形をISISのみで判断することは不十分である。実際問題としては、Brace治療を受けている症例のほうがISI

Sによるメリットを受けると考えられ、いかにして信頼度を高めるか、撮影法の改良などが望まれる。

またマーキングから撮影、出力までが約10分と長く、マーキングにもある程度熟練を要し、また、処理方法が固定されており（ユーザーが新しい処理法を追加できない）、今後、ハード・ソフト両面で改良を加え、測定値の安定化と迅速化を図る必要がある。

更に、側彎症外来患者、集団検診対象者等の病態把握および自然経過、ブレース治療効果などの解析を効果的に行うためには、画像情報を含む総合的なシステムの開発が望まれる⁶⁾。

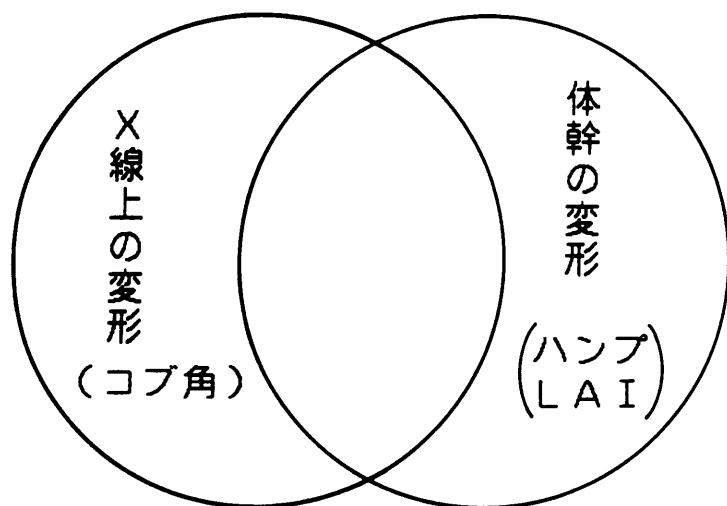


図6. 脊柱側彎症患者における体幹表面の変形とX線上的変形との関係

[参考文献]

- 1) 原田吉雄, 竹光義治, 市ヶ谷学, 他: 脊柱側彎症の学童集団検診と側彎発見後の治療方針について. 整形災害外科, 22(3):261-270, 1979
- 2) 原田吉雄, 竹光義治: 学校検診とその問題点. 整形外科 M o o k 18:71-82, 1981
- 3) 原田吉雄, 竹光義治, 柴田稔: Moire topography 体表面計測法による脊柱側彎症検診および経過観察. 脊柱変形, 1(1):163-169, 1986
- 4) Harris JD, Jefferson RJ, Turner-Smith AR: Measurement of back shape using ISIS scanning. Surface Topography and Spinal Deformity, Gustav Fischer Stuttgart, New York, 197-204, 1986
- 5) Houghton GR, et al: The evaluation of ISIS in idiopathic scoliosis. Surface Topography and Spinal Deformity, Gustav Fischer Stuttgart, New York, 205-211, 1986
- 6) 今井充, 原田吉雄, 竹光義治: ミニコンピュータによる脊柱側彎症患者の病歴管理. 北海道整形災害外科雑誌, 29(1,2):229-236, 1984
- 7) 鈴木信正, 他: 脊柱側彎症に対する画像診断. 脊椎脊髄ジャーナル, 1(7):539-546, 1988
- 8) 竹光義治: 側彎症—スクリーニングの方法と事後措置—. 日本整形外科学会雑誌, 55(2):97-111, 1981
- 9) 徳広聡, 竹光義治, 今井充, 他: ISIS - INTEGRATED SHAPE INVESTIGATION SYSTEM による特発性側彎症体表面三次元形状測定法の研究. 第14回モアレ・三次元計測研究会抄録集, 9-11, 1989
- 10) Turner-Smith AR, Harris JD: ISIS - an automated shape measurement and analysis system. Surface Topography and Spinal Deformity, Gustav Fischer Stuttgart, New York, 31-38, 1986
- 11) Upadhyay SS, Burwell RG, Webb JK: Hump changes on forward flexion of the lumbar spine in patients with idiopathic scoliosis. A study using ISIS and the Scoliometer in two standard positions. Spine, 13(2):146-151, 1988

- 1 2) Weisz I, Jefferson RJ, Turner-Smith AR: ISIS Scanning:
A Useful Assessment Technique in the Management of Scoliosis.
Spine, 13(4):405-408, 1988

[今後の研究課題]

前述の解析結果と、ISISおよびモアレのそれぞれの長所・短所を総合して検討した結果、新しい体表面測定装置には次の3項目が求められる。

- ①測定パラメーターとして、ハンプ、横断面上の傾斜角、予想側彎角(LAI)、脇線の非対称性等を出力可能であること。
- ②準備時間を含んだ撮影時間が30秒以下であり、リアルタイム全自動解析が可能な安価なシステムであること。
- ③体表面形状の画像データだけでなく、X線上のコブ角を含んだ全ての受診時データを管理する総合的なデータベースシステムであること。

側彎症患者の病歴管理システムは既に完成している。今後の課題は、この既存のシステムに①～③を満足するシステムを新たに開発して追加し、総合的な側彎症患者データベースシステムを構築していくことである。