

# 側弯症検診の

# 問題点と今後

# 基礎研究とテクノロジーの応用

背骨が振れるように湾曲する側弯症。

特に「思春期特発性側弯症」は小学校高学年から中学生に発症するものでその9割以上が女兒であり、発生率は女子中学生の1〜2%といわれています。本会は長年側弯症検診を実施し(表)、また最近では検査機器の開発や側弯症と生活習慣に関する研究なども積極的に進めてきました。そこで本号は、開発・研究の際にもご指導いただいた側弯症研究の第一人者、慶應義塾大学整形外科教室の渡辺航太先生に側弯症検診の問題点や今後についてご解説いただきます。



渡辺 航太

わたなべ こおた  
慶應義塾大学医学部  
整形外科教室 准教授

1997年慶應義塾大学医学部卒業。同大医学部整形外科に入学。2005年から1年間の米国ワシントン大学整形外科留学。2015年慶應義塾大学整形外科専任講師、2019年5月より現職。専門：脊椎一般、脊柱変形、腰椎内視鏡下手術、側弯症

## 側弯症検診の歴史と世界の状況

脊柱側弯症とは、本来は正面から見て真っ直ぐに配列している脊柱が、左右に振れるように湾曲する疾患です(図1)。

脊柱側弯症の疾患背景にはさまざまなものがありますが、その大部分を占めるのが、明らかな発症原因のわからない「思春期特発性側弯症」です。

思春期特発性側弯症の重度進行例では、からだの振れや姿勢の歪みといった整容的な問題以外にも、心肺系の障害や運動器系の障害を引き起こして学童の健康を大きく害することから、脊柱側弯症学校検診(Scoliosis School Screening、以下SSS)が1979年度に導入されました。2016年度からは運動器学校検診として継続されています。

運動器学校検診では、まず家庭で児童の背骨や手足の問題について評価を行い、その後、学校医による視触診が実施され、脊柱側弯症が疑われた場合に整形外科を受診するという仕組みになっています。

米国でのSSSは、1963年

にミネソタ州のエイキン(Aitken)という町で始まり、そして2003年には21もの州でSSSが法定されるに至っています。

一方で、米国予防医学専門委員会は1996年に「SSSを施行する明確なエビデンスがない」とコメントを出し、さらに2004年には「SSSを施行する十分な根拠がないので、SSSは推奨しない」という否定的なコメントを出しました。

その他、多くの国々でも1970年代から90年代にかけてSSSが行われましたが、低い費用対効果、高い偽陽性率などの問題で、カナダ、ポーランド、オランダ、ノルウェー、アイルランド、イギリスはSSSに対して否定的な立場を取っています。

オーストラリアではSSSを中止した代わりに、側弯症に関するパンフレットを学童の家庭に配布し、家庭でスクリーニングを行う方式を開始しました。そして家庭医に対してはインターネットを通じて側弯症の教育を行い、側弯の疑いがある児童は家庭医を受診することとしました。

なおスウェーデン、ギリシャ、香港では、SSSは推奨されていません。

表 東京都予防医学協会の脊柱側弯症検診の実施成績 (2017年度)

区分	1次・モアレ撮影						2次・直接X線撮影											
	受診者数	異常者数	(%)	異常者内訳			コブ角度別内訳											
				要2次検査	(%)	要病院受診	(%)	次年度モアレ	(%)	10度未満	(%)	10度〜14度	(%)	15度〜19度	(%)	20度以上	(%)	
小学校	男	18,031	371	(2.06)	11	(0.06)	2	(0.01)	358	(1.99)	3	(0.02)	3	(0.02)	1	(0.01)	2	(0.01)
	女	17,401	1,214	(6.98)	134	(0.77)	8	(0.05)	1,072	(6.16)	15	(0.09)	27	(0.16)	29	(0.17)	40	(0.23)
	計	35,432	1,585	(4.47)	145	(0.41)	10	(0.03)	1,430	(4.04)	18	(0.05)	30	(0.08)	30	(0.08)	42	(0.12)
中学校	男	14,438	830	(5.75)	63	(0.44)	9	(0.06)	758	(5.25)	14	(0.10)	15	(0.10)	4	(0.03)	12	(0.08)
	女	16,053	2,343	(14.60)	465	(2.90)	59	(0.37)	1,819	(11.33)	29	(0.18)	93	(0.58)	110	(0.69)	106	(0.66)
	計	30,491	3,173	(10.41)	528	(1.73)	68	(0.22)	2,577	(8.45)	43	(0.14)	108	(0.35)	114	(0.37)	118	(0.39)
合計	男	32,469	1,201	(3.70)	74	(0.23)	11	(0.03)	1,116	(3.44)	17	(0.05)	18	(0.06)	5	(0.02)	14	(0.04)
	女	33,454	3,557	(10.63)	599	(1.79)	67	(0.20)	2,891	(8.64)	44	(0.13)	120	(0.36)	139	(0.42)	146	(0.44)
	計	65,923	4,758	(7.22)	673	(1.02)	78	(0.12)	4,007	(6.08)	61	(0.09)	138	(0.21)	144	(0.22)	160	(0.24)

注) 受診者数は検診対象学年のモアレ撮影数

東京都予防医学協会「年報」2019年版より <https://www.yobouigaku-tokyo.or.jp/nenpo/>

## 側弯症検診の問題点

SSSにはさまざまな問題点があります。まず、スクリーニングの方法が統一されていない点です。Adamsにより考案されたForward bending test（前屈テスト）や scolimeter（脊柱側弯計）は、安価で簡易な方法のため広く普及しています。一方で、高い偽陽性率や偽陰性（見落とし）が問題となっています。

脊椎の専門医以外による前屈テストやscolimeterによるスクリーニングは、検査を行う人によってその基準がさまざまであるため、見落としを恐れて検診者が疑心暗鬼になると、正常例や治療の必要のない非常に軽度な側弯症例の受診が増え、偽陽性率はね上がり、SSSの質が担保されません。

このように、検診者の主観が検診結果に影響する以上、SSSの精度向上と均一化は見込めないでしょう。

費用対効果も重要な要素です。自治体によって児童1人に対する予算に差がある点も問題ですが、そもそも十分な予算が割り当てられていない点がさらに大きな問題だといえます。

そして最も大きな問題は、SSSの効果に関する明確なエビデンスがないため、費用対効果の検討自体が困難なことです。

現在、世界的にみてもSSSは転換期にあると思われます。

2013年にアメリカ国立衛生研究所(National Institutes of Health、NIH)のサポートで行われたBRAIST studyによって、装具治療の有効性が、高いエビデンスレベルで証明され、側弯症の早期発見・早期治療のエビデンスが構築されました。

今後解決すべき課題は、スクリーニング方法の画一化、精度の向上、そして費用対効果を含めたエビデンスの構築でしょう。

特に、SSSで見つかった側弯症の予後をしっかりと調査し、さらにSSS以外で見つかった側弯症の予後と比較して、SSSで見つかった側弯症の予後は良好である、というエビデンスを構築することが最重要課題といえます。

## 今後の側弯症学校検診

SSSにおけるスクリーニングの方法には、先ほど触れた前屈テスト、scolimeterの他、視診、

## 図2 新しい検査機器(3Dバックスキャナー)の特徴

従来のモアレ縞



鮮明で、より正確な等高線を表示する3Dバックスキャナー



1. 体の背面までの距離や形状を3次元で測定した定量的データを基にしており、従来のモアレ縞に比べ鮮明で正確な等高線を表示する
2. 背面左右の縞の本数の違いや縞の幅の違いで表される隆起を判別しやすく、検査精度の向上が期待できる
3. 視診や触診だけの検査に比べ、3Dバックスキャナーを使用すると陽性的中率の向上が期待できる

写真提供：日本機器製業

シルエッター法、モアレ法などがあります。中でも、体表面の形状を等高線で表示するモアレ画像検査は、体幹の非対称性を鋭敏に評価できる方法です。表示された等高線状の縞がカウントできるため、ある程度の定量性と客観性があるといえるでしょう。

しかし、得られた画像の解釈には専門性があり、判定結果はあくまでも側弯の有無であること、さらに、カーブタイプやカーブの大きさ（コブ角）の推定といった詳細な診断はできないことなどの問題もあります。その上、モアレ画像を撮影する機器が販売中止になっているため、新たな検査機器の開発が急務でした。

そこでわれわれ慶應義塾大学整形外科学教室は、東京都予防医学協会ならびに株式会社スペースビジョンと共同で、児童の背部の撮影に特化した撮影装置「3Dバックスキャナー」を開発しました(図2)。

本機器の特徴は、3次元で体表面を記録できること、蛍光灯の下でも撮影が可能であること、撮影時間が0.5秒未満であるため鮮明な画像が得られ、かつ多くの児童の検診が短時間で可能になることがあげられます。また3次元での撮影であるため、モアレ画像への変換だけでなく、さまざまな画像撮影・診断装置への応用が可能です。さらにも特徴の一つです。

さらにわれわれはモアレ画像の判定の自動化を目指し、人工知能(深層学習、AI)を用いて、モアレ画像を基にコブ角と椎体回旋の程度を予測するソフトを開発しました。このソフトによりコブ角という定量性が担保され、回旋の程度を評価することによって機能性側弯や境界領域の側弯をスクリーニングすることができるようになりました。検診精度向上につながる可能性も示唆されます。

3Dバックスキャナーは2019年11月に薬事申請されました。AIを使った判定ソフトについては未だ臨床応用には至っていませんが、鋭意開発が進行しているため、今後の展開に期待したいだけだと思います。

## 側弯症と食習慣との関連

この度、当教室と東邦大学医学部社会医学講座、そして東京都予防医学協会と共同で、日本人の側弯症に関連する生活習慣について調査し、側弯症と食習慣には明確

## 図1 側弯症の男児



## 〈前屈テスト〉



## 〈X線写真〉



- 両肩の高さ、両肩甲骨の高さ、位置、脇線の曲がり方に左右差があります(左)
- 前屈テストでは肋骨隆起が明らかです(中)
- X線写真では右凸の胸椎カーブを認めます(右)

な関係はないことを見出したので、この場を借りてその詳細を報告します。なお、この研究成果は2019年10月1日、人間栄養学分野の総合科学雑誌『Nutrients』に掲載されました。

側弯症発症の原因に関して、遺伝子、生活環境、ホルモンバランス異常、神経系の異常、力学的な要因など多くの研究報告がありましたが、その中でも遺伝的要因に関して、当教室は、理化学研究所骨関節疾患研究チームと共同で、側弯症の発症に関連する遺伝子の研究を行い、「LBX1」「GPR126」「BNC2」など多くの関連遺伝子を世界に先駆けて発見してまいりました (Ikuyo Kou and Nao Otomo et al. Nat. Commun. 2019<sup>4)</sup> 他)。

一方で、スウェーデンで行われた研究から、遺伝子の影響は発症原因の60%程度であると報告され、近年では再び胎内環境や出生後の生活環境、スポーツ歴、生活習慣なども関与していると考えられるようになりまし。本研究グループも先行研究で、バレエなどの一部の運動は側弯症と関連があることを報告しています (Watanabe K et al. J Bone Joint Surg Am. 2017)。

しかしながら、食習慣が側弯症に与える影響を検討した詳細な研究は過去に例がなく、側弯症にならないために摂取すべき栄養素・食品、その量、または摂取を控えるべき栄養素・食品、その量について明確な答えはありませんでした。この食習慣が与える影響に関しては、多くの側弯症患者とその保護者だけでなく、本疾患に関心のある多くの生徒やその保護者の大きな懸念事項となっていました。が、明確に回答することができなかったのです。

過去に行われた動物実験においては、ビタミンAやB6、そして銅やマンガンのミネラルが脊柱の奇形を起こす可能性があると報告されてきましたが、これらが人の側弯症に関係しているかどうかについての研究報告はありません。また人においては、側弯症患者で見られる骨密度の低さとカルシウム摂取量の低さに関係がある、との報告がありますが、側弯症の発症そのものと関連のある食習慣については、やはりこれまでに研究がなされてきませんでした。

そのため今回、側弯症検診に訪れた女子中学生の協力を得て、日本人の食習慣と側弯症の関連について調査しました。

## 過去最大の解析調査の実施

日本国内では、側弯症を発症しやすい10〜14歳の間に学校で側弯症検診が行われています。

学校で1次検診を行い、側弯症の疑いがあった場合、X線写真の撮影を含む2次検診を受診。そこで専門医により側弯が診断されます (図3)。

思春期特発性側弯症の患者の9割以上が女兒であるため、今回の研究では、東京都予防医学協会において実施された2次検診を受診した女子中学生を対象としました。

なお、本研究は2013年から2015年の2年間に実施され、受診した合計2759人の女子中学生のうち、2747人(99.6%)が研究への参加に同意しました。

今回の調査にあたって、事前に側弯の診断がついている女子中学生は調査対象から除外。その他、先天性側弯症の36人、心疾患合併例の20人、てんかん既往例のある27人、椎体奇形1人、さらに生理の状況が不正確な63人、アンケートの記載が不十分な169人を解析対象から外し、最終的に、過去

の側弯症患者に関する疫学研究と比較して最大となる2431人を解析対象としました。

まずは研究参加者のX線写真を撮影し、臨床的な診断基準に基づきコブ角15度以上を側弯症(注)、15度未満は側弯でないとして定義しました。また、身長・体重の計測を行い、生理の状態や生活習慣に関する質問票、さらに簡易型自記式食事歴法質問票(小中高年生用、以下BDHQ15y)を用いた調査を行いました。

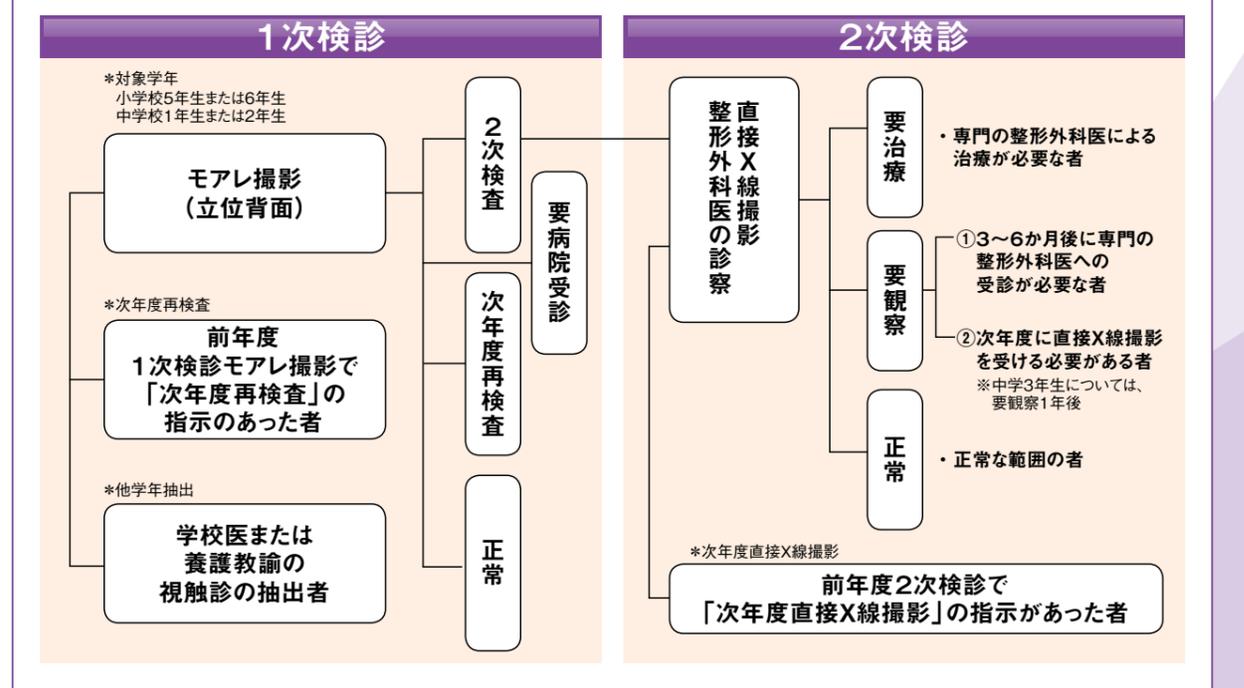
BDHQ15yは、調査日から週って約1カ月間程度の習慣的な栄養素・食品摂取量を定量化できる調査票です。

データ取得後は、統計学的方法を使い、年齢、生理の状態、社会因子などが、側弯症と診断されたグループとそうでないグループの間で差が出ないよう考慮し、グループ間の比較が正確に行えるようにした上で食事因子と側弯の関連を検討しました。

## 研究の成果と意義

解析の結果、今まで関連があると考えられていたカルシウム、ビタミンD、ビタミンAやB6、銅、マンガンの栄養素摂取量は、

図3 本会の脊柱側弯症検診のシステム



いずれも側弯症と明確な関連はなく、これらの栄養素を多く含む牛乳・乳製品、魚介類、肉類などの食品摂取量も、側弯症と明確な関連はないことが明らかになりました。

この食習慣の調査は、生まれてから中学生になるまでの全期間ではなく、調査前1カ月間程度の食習慣を対象にしたものですが、食習慣は長期にわたり継続するとの研究も存在し (Touret, S. et al. Eur. J. Clin. Nutr. 2013<sup>5)</sup> 他)、限定された期間についての食習慣に関する情報であっても、長期的な摂取量の多寡を反映していると考えられています。

一方で、本研究の強みは99.6%という極めて高い研究への参加率と、参加者が2431人と十分に確保されている点です。

さらに、参加者全員が専門医によってX線写真に基づき側弯の診断を受けているため、診断の信頼性が高く、加えて食習慣の情報も妥当性の確認された食事調査法で収集されています。

また、年齢、生理の状態、社会因子などの交絡因子を十分に検討し、統計解析で調整を行っており、データは2年間という短い間に収集されたため、世代による生活習

慣の変化の影響を受けにくいと考えられます。

## おわりに

先行研究では、肥満度を表すBMIについて、BMI18.5未満の痩せ傾向にある女兒に側弯が多いことが報告されており、またこれらのことより、摂食障害、過剰な運動、低骨塩量、ホルモンバランス異常と側弯症との関連が示唆されることから(※関連プレスリリース)、これらに関する詳細な研究については今後の課題と考えられます。

いずれにしても、本研究結果は側弯症で悩む児童やその家族への生活指導において、有効な情報になると考えられます。

(注) 今回の調査ではX線写真で骨のコブ角が15度未満は、側弯と診断しないで、解析を行っている。

※関連プレスリリース 「思春期特発性側弯症とスポーツ活動や生活習慣との関連——適切なスポーツ活動や生活習慣指導へ」 <https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2017/2/16/28-19694/>