体幹側屈位が胸壁運動に及ぼす影響

Influence of Lateral Bending on Chest Wall Motion

仲保 徹^{1,2)} 山本 澄子²⁾

TOHRU NAKABO^{1,2)}, SUMIKO YAMAMOTO²⁾

¹⁾ Faculty of Health Science Technology, Bunkyo Gakuin University: 1196 Kamekubo, Fujimino-shi, Saitama 356-8533, Japan.
TEL +81 49-261-7973

²⁾ International University of Health and Welfare, Graduate School

Rigakuryoho Kagaku 25(5): 803-810, 2010. Submitted Apr. 28, 2010. Accepted Jun. 19, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] Lateral bending is a simple movement, but there are many unclear aspects about its influence on breathing motion. In this study, we measured chest wall motion with a 3D analysis system and investigated the influence of lateral bending on breathing motion. [Subjects] The subjects were 12 healthy adult men. [Methods] In lateral bending, we measured the chest wall motion through the variations of body markers. With regard to extension and reduction in variation of chest wall motion, we performed a comparison with upright standing of the bent and extended sides. [Results] Compared to standing, in lateral bending, breathing variation and variation of chest wall motion decreased. Also, we found that compared to the extended side, inspiration motion was greater on the bent side, and that expiration motion was greater on the extended side compared to the bent side. [Conclusion] Lateral bending is a restrictive position for breathing motion, however, we conjecture that, together with breathing, it could be used to improve unilateral symptoms.

Key words: trunk lateral bending, chest wall motion, 3D analysis system

要旨: [目的] 側屈は簡易な運動であるが、側屈位が呼吸運動に与える影響については不明な点が多い。本研究は側屈位の胸壁運動を3次元動作解析装置で測定し、呼吸運動に与える影響を検討した。[対象] 健康成人男性12名とした。[方法] 側屈位での胸壁運動を体表マーカーの変化量で測定した。胸壁の拡張変化量と縮小変化量について、直立位との比較、側屈側と非側屈側との比較を行った。[結果] 直立位に比べ側屈位では呼吸変化量、胸壁運動の変化量の減少がみられた。また、非側屈側に比べ側屈側で吸気運動が大きく、呼気運動では側屈側に比べ非側屈側の方が大きくなることが分かった。[結語] 側屈位は呼吸運動では拘束的肢位であるが、呼吸との組み合わせにより片側病変の改善を見込めることが推測された。

キーワード: 体幹側屈位、胸壁運動、3次元動作解析

¹⁾ 文京学院大学 保健医療技術学部：埼玉県ふじみ野市亀久保1196（〒356-8533）TEL 049-261-7973

²⁾ 国際医療福祉大学大学院

I. はじめに

直立姿勢では、呼吸時の肋骨は pump-handle motion, bucket-handle motion, caliper motion と呼ばれる動きをしている。その動きは、ほぼ左右同程度の動きを同時に行っており、この動きにより胸郭は拡張、縮小をしている。しかしこの動きは直立姿勢で観察される動きであり、体幹の肢位によりその動きに変化が生じることが考えられる。肋骨の多くは椎体間に関節面を持ち、その動きは体幹の動き、あるいは椎体の動きと関係が深い。例として、体幹の屈曲では肋骨は前方回転し、伸展では後方回転が生じる。また、体幹の回旋は回旋側の肋骨の後方回転、および非回旋側の肋骨の前方回転を伴う。側屈では、側屈側の肋骨は接近し、非側屈側の肋骨は離開する。このような体幹運動に伴う肋骨運動の特徴から、呼吸運動に伴う胸壁運動は、姿勢が変化することで直立姿勢と同等に行われるものでないことが容易に考えられる。

側屈運動は基本的な身体運動であるとともに胸腰部側面の柔軟性向上のための運動として利用されている。さらに、呼吸器疾患々々に対してはセルフストレッチや棒を用いた体操として紹介され実施されている¹⁾。これは体幹の側屈を行うことにより、肋骨の可動性や呼吸筋の伸張性を改善させることを目的としており、その継続的な実施により呼吸機能改善の効果が認められている^{2,3)}。このような体幹の側屈は、運動として利用することで呼吸運動に良好な作用を及ぼすことが示されている。しかし、体幹側屈が呼吸運動に及ぼす影響の研究は行われていない。類似した研究として、側彎症患者の胸壁運動や呼吸機能の報告はいくつかみられる⁴⁻⁷⁾。これらの報告は、3次元動作解析であっても運動方向を示す座標系の設定が不明瞭であるものや、CTやMRI画像による平面上の解析であるため、運動の方向や大きさなどの結果が一致していない。以上より、体幹肢位を変化させた場合の胸壁運動に関しては、未だ不明瞭な点が多く、明らかとなっていない。

呼吸時の胸壁運動の客観的な測定方法として、Alivertiらが報告している Opto-Electronic Plethysmography (以下、OEP) がある⁸⁾。この方法は体表に貼付した多数の反射マーカーの3次元座標から胸壁の幾何モデルを構成し、ガウスの定理からその容積を算出するものである。OEPは健常者や患者での検証が行われており、肺活量計や呼吸流量計による測定との比較でその妥当性が確認されている⁹⁾。

前述の通り、胸壁運動は姿勢やポジショニングによ

りその運動の量や方向が変化することが考えられる。しかし、このことに関して検証をした研究はみられない。今回、OEPに準拠した方法で側屈位での呼吸運動に伴う胸壁運動の大きさ、方向を測定した。体表から胸壁の形状変化を把握することで、側屈位が胸壁運動に与える影響を検討した。本研究では、側屈位における胸壁の動きやすい部位、動きにくい部位を特定し、臨床評価、アプローチにおける一指標を構築することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象者は研究に同意を得られた健常成人男性12名とした。測定に先立ち、測定の趣旨および内容について説明を行い、承諾を得た。また、慢性呼吸器疾患の既往があるもの、開胸開腹術の既往があるもの、脊柱および胸郭に著明な変形があるものは対象者から除外した。対象者の身体特性について表1に示す。

2. 方法

測定は座位姿勢で行い、測定条件を体幹右側屈位(側屈位)とした。対照条件として直立座位(骨盤傾斜角0度)を設定した。側屈位において骨盤の側方傾斜および前後傾が生じないこと、側屈角度は呼吸および姿勢保持に過度な努力が生じない範囲であること、測定姿勢により呼吸困難感を生じないことに注意した。側屈位での測定前に各対象者の呼吸に対する感覚を聴取し、姿勢保持をした状態で呼吸困難感がないことを数度試行した上で確認した。身体の右側を側屈側とし、左側を非側屈側とした。

胸壁運動の測定は、筆者らが先行研究で示した方法と同様な方法で行った¹⁰⁾。3次元動作解析装置(Vicon MX, Vicon社)に接続された赤外線カメラ13台を使用した。サンプリング周波数は120 Hzとした。赤外線反射マーカーは直径9.5 mmのものを使用し、腹側体表面の30箇所貼付した。マーカー貼付における身体のランドマークは胸骨頸切痕、第3肋骨、胸骨剣状突起、第8肋骨、第10肋骨とした。頸切痕、剣状突起は身体腹側で触知し、第3肋骨は傍胸骨部で触知した。また第8肋骨、および第10肋骨は側腹中央における部位にて触知した。それぞれのランドマークの水平線上で、身体正中線を基準に両側に向かって内側列、中央列、外側列の計6列にマーカーを貼付した(図1)。先行研究と同様に、姿勢変化によるマーカーの変位方向の補正のため

表1 対象者の身体特性

Subjects	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	VC (L)	%VC (%)	FEV _{1.0} (L/sec)	FEV _{1.0} % (%)
a	20.0	171.0	65.8	22.5	4.9	112.0	4.4	89.7
b	21.0	170.5	56.5	19.4	4.7	109.0	3.8	80.2
c	20.0	171.5	66.0	22.4	4.1	95.0	3.5	84.3
d	20.0	182.6	72.6	21.8	5.1	109.0	4.4	86.7
e	21.0	166.9	58.7	21.1	4.4	104.0	3.7	83.6
f	19.0	168.6	63.8	22.4	4.6	108.0	4.1	88.6
g	20.0	179.5	78.5	24.4	5.6	104.0	5.0	90.0
h	21.0	167.3	71.5	25.5	5.1	107.0	3.8	73.4
i	20.0	174.3	66.6	21.9	4.8	94.0	3.8	79.6
j	22.0	178.2	71.7	22.6	5.7	108.0	4.9	87.3
k	22.0	161.3	47.3	18.2	3.3	82.0	3.2	96.1
l	21.0	180.6	72.1	22.1	4.7	88.0	4.1	85.7
Mean ± SD	20.6 ± 0.9	172.7 ± 6.2	65.9 ± 8.2	22.0 ± 1.9	4.7 ± 0.6	101.7 ± 9.2	4.0 ± 0.5	85.4 ± 5.6

Age : 年齢, Height : 身長, Weight : 体重, BMI : Body Mass Index, VC : Vital Capacity (肺活量), %VC : %肺活量, FEV_{1.0} : Forced Expiratory Volume in 1 second (1秒量), FEV_{1.0}% : 1秒率

図1 マーカー貼付位置

IR : 内側列, CR : 中央列, OR : 外側列, JN : 胸骨頸切痕, 3R : 第3肋骨, XP : 胸骨剣状突起, 8R : 第8肋骨, 10R : 第10肋骨

に、各レベルの体幹側屈角度を座標系に反映させた。それぞれのレベルにおいて体幹の左右方向をX軸、腹背側方向（前後方向）をY軸、そのレベルにおける体幹の長軸方向（上下方向）をZ軸とした。これら座標系の変換はマーカー位置データからデータ解析用ソフトVicon BodyBuilderを用いて処理を行い胸壁運動の変化

量として扱った。

また、呼気ガス分析装置（AE-300S, ミナト医科学社）により呼吸相の相分けと呼吸量の測定を行った。得られた呼吸量のデータはアナログデータとして出力され、A/D変換機を介しVicon Data Station（Vicon社）にサンプリング周波数120 Hzで取り込んだ。呼気ガス解析器による呼吸量の測定では、流量センサーに生じる機械的誤差であるドリフト現象が問題となりその補正が必要となる。本研究ではJohnsonらの方法に準拠し¹¹⁾、野添らが行った方法を用いドリフト補正を行った¹²⁾。その方法は、測定時の最初と最後に最大吸気を行い2つの吸気量の差をその間の時間で除し、一定時間にドリフトによって生じる呼吸量の変化を求めた上で、測定値からその変化量を引くことによっている。

取り込まれた胸壁運動の変化量はテキストデータとして、呼吸量データはCSV形式として出力し、表計算ソフトMicrosoft Excel2003を用いて同期化を行った。

1回の測定プロトコールは、初めに最大努力吸気を行わせ、その後安静呼吸を5呼吸以上行わせ、呼吸が安定した後、最大努力呼吸を3回繰り返させ、再度安静呼吸を行わせた。測定データの抽出は胸壁運動の変化量、呼吸量ともに安静呼吸中の3呼吸分のデータと、最大努力呼吸3回のデータを使用した。胸壁運動は各運動方向（座標方向）において、それぞれ安静呼吸位のマーカー位置座標（3回の平均値）を基準とし、最大吸気位3回の平均値を吸気時の拡張変化量（mm）、最大呼気位

表2 各レベルの側屈角度

	JN	3R	XP	8R	10R
側屈角度	26.6 ± 4.3	23.9 ± 3.3	19.2 ± 2.6	12.3 ± 3.4	6.3 ± 0.5

単位: degree

JN: 胸骨頸切痕, 3R: 第3肋骨, XP: 胸骨剣状突起, 8R: 第8肋骨, 10R: 第10肋骨, 前額面上における鉛直軸に対する各レベルの側屈角度(右側屈が正值)

表3 2条件間の呼吸変化量の比較

	直立位	側屈位
吸気量(ml)	1819.4 ± 233.6	1499.0 ± 289.1*
呼気量(ml)	787.5 ± 373.6	427.8 ± 386.7*
一回換気量(ml)	557.3 ± 249.4	544.6 ± 182.7

Wilcoxonの符号付順位検定, *: $p < 0.05$

3回の平均値を呼気時の縮小変化量(mm)とした。また、呼吸量の測定は安静呼気位から最大吸気位までの変化量を吸気量(ml)、安静呼気位から、最大呼気位までの変化量を呼気量(ml)とした。さらに安静呼気位から安静吸気位までの変化量を一回換気量(ml)とした。

統計学的検定として、胸壁運動に姿勢条件が与える影響を検討するため、側屈側、非側屈側において直立位と側屈位の2条件間での拡張変化量、縮小変化量の差の有無をWilcoxonの符号付順位検定を用いて調べた。また、呼吸変化量についても同様に直立位と側屈位の2条件間で比較した。なお、統計処理には統計解析ソフトウェアSPSS ver.17.0を使用し、有意水準は危険率5%未満とした。

III. 結果

側屈位の各レベルの側屈角度を表2に示した。側屈角度は下位より上位で大きくなる傾向がみられた。

直立位と側屈位の呼吸量の比較を表3に示した。呼吸量は吸気量、呼気量ともに側屈位で有意に減少を示したが(それぞれ $p < 0.05$)、一回換気量については著明な差は認めなかった。

吸気時の拡張変化量を表4, 5に示した。側屈側では、剣状突起レベルを中心に各方向の拡張変化量が減少する傾向がみられた。左右方向では身体の外側ほどその傾向が強くみられた(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。前後方向では、剣状突起部から上位の部位では側屈位が有意に減少する傾向がみられた(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。特に、上下方向は他の2方向に比べその差が顕著にみられ、内側列の頸切痕部を除く全ての部位で側屈位が有意に減少した(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。非側屈側においては、上下方向では外側列第10肋骨部を除く全ての部位で拡張変化量が有意に減少した(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。

呼気時の縮小変化量を表6, 7に示した。側屈側では第8肋骨部、第10肋骨部の下位の部位で各方向の縮小変化量は減少する傾向がみられた。第8肋骨部では内

側列の左右方向、前後方向、中央列の前後方向、上下方向、外側列の全ての方向で有意差を認めた(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。第10肋骨部では内側列の全ての方向、中央列の前後方向、上下方向、外側列の全ての方向で有意差を認めた(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。非側屈側では縮小変化量が減少する傾向がみられた。左右方向では上位の頸切痕部、第3肋骨部で有意差を認めた(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。前後方向では下位の第8肋骨部、第10肋骨部で有意差を認めた(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。上下方向では内側列で有意差を認めた(それぞれ $p < 0.05$)。

IV. 考察

胸壁運動の3次元動作解析は、Alivertiらが研究報告をしている⁸⁾。体表に貼付した反射マーカーから容積を算出し、その変化から胸壁運動の拡張、縮小を解析している。この方法は呼吸流量計などが使用できない重症例や人工呼吸器装着者の呼吸状態を評価することが可能である。また、このOEPを用いた胸壁運動の評価により従来呼吸機能検査の適応がない運動中の呼吸状態の測定や背臥位における測定などが行われるようになった¹³⁻¹⁶⁾。その中で、姿勢変化による胸壁運動の相違の検討はまだ前例が少なく¹⁰⁾、検討の余地が多くあると考える。今回、運動療法などで利用されることがある体幹側屈の胸壁運動を測定し、その運動特徴を明確にした。

まず、条件設定においては、身体の柔軟性が対象者により異なることから明確な角度設定を行わなかった。重視したのは対象者の呼吸に対する感覚である。呼吸も運動であり、運動を行う上で運動に対する感覚はそのパフォーマンスに大きく影響を与える。条件設定を一定の角度で定義した場合、そのとき生じる各対象者の呼吸困難感はずしも同一とはならない。本研究では各条件においても最大努力呼吸を行っており、能動的な努力により生じる呼吸性努力の感覚は一定と考えることができる。一方で不快さの感覚は、呼吸そのもの

表4 2条件間の吸気時の拡張変化量の比較（直立位右側と側屈位側屈側）

		左右方向		前後方向		上下方向	
		直立位(右)	側屈側	直立位(右)	側屈側	直立位(右)	側屈側
IR	JN	1.0 ± 1.1	0.1 ± 0.6**	7.8 ± 2.0	5.6 ± 2.6*	15.2 ± 5.0	11.5 ± 4.7
	3R	0.8 ± 0.6	0.5 ± 0.2	12.0 ± 3.4	10.7 ± 4.8	21.1 ± 5.5	13.0 ± 5.2*
	XP	1.5 ± 0.8	0.8 ± 0.8*	16.9 ± 4.5	12.9 ± 5.1*	19.3 ± 6.2	9.5 ± 2.6**
	8R	0.7 ± 0.7	1.4 ± 1.1	11.1 ± 4.4	14.7 ± 4.3**	13.2 ± 6.1	5.6 ± 3.2**
	10R	1.4 ± 0.9	1.4 ± 1.9	8.0 ± 5.4	15.6 ± 4.9**	10.4 ± 5.1	3.7 ± 3.9**
CR	JN	1.7 ± 1.3	1.2 ± 0.7	10.5 ± 2.3	7.4 ± 3.1*	18.0 ± 4.6	13.0 ± 4.8*
	3R	2.5 ± 1.3	1.7 ± 0.8	15.1 ± 3.4	12.8 ± 5.4	23.0 ± 5.6	14.0 ± 5.3*
	XP	4.7 ± 1.3	2.4 ± 1.2**	19.6 ± 4.5	13.6 ± 5.6**	21.5 ± 6.1	10.3 ± 2.5**
	8R	5.5 ± 1.9	3.4 ± 1.3*	20.1 ± 4.5	15.7 ± 5.0*	12.7 ± 4.7	5.2 ± 2.8**
	10R	2.9 ± 1.8	4.1 ± 1.6	10.1 ± 4.4	15.1 ± 5.0**	8.0 ± 3.6	1.7 ± 4.5**
OR	JN	3.2 ± 1.4	2.0 ± 1.0	9.5 ± 2.6	5.3 ± 2.6**	16.5 ± 5.2	10.3 ± 4.1*
	3R	4.7 ± 1.9	3.4 ± 1.2	14.3 ± 3.4	10.9 ± 4.3**	22.8 ± 5.9	13.4 ± 5.2**
	XP	6.6 ± 2.7	3.8 ± 1.6**	19.9 ± 4.4	13.8 ± 5.4**	22.8 ± 5.7	10.0 ± 3.9**
	8R	9.4 ± 3.0	5.1 ± 2.1**	18.5 ± 4.6	13.6 ± 4.5*	14.6 ± 6.1	4.9 ± 3.0**
	10R	5.8 ± 2.6	5.2 ± 1.9	11.4 ± 3.6	11.1 ± 3.6	5.7 ± 3.1	0.3 ± 3.8**

単位：mm，平均値±標準偏差

IR:内側列, CR:中央列, OR:外側列, JN:胸骨頸切痕, 3R:第3肋骨, XP:胸骨剣状突起, 8R:第8肋骨, 10R:第10肋骨, Wilcoxon の符号付順位和検定, *: p<0.05, **: p<0.01

表5 2条件間の吸気時の拡張変化量の比較（直立位左側と側屈位非側屈側）

		左右方向		前後方向		上下方向	
		直立位(左)	非側屈側	直立位(左)	非側屈側	直立位(左)	非側屈側
IR	JN	0.5 ± 0.5	0.6 ± 0.5	7.8 ± 1.8	5.7 ± 2.7*	15.1 ± 5.3	10.2 ± 5.2*
	3R	0.7 ± 0.6	0.6 ± 0.5	11.0 ± 3.1	8.5 ± 4.3*	19.5 ± 6.0	11.3 ± 5.2**
	XP	1.6 ± 0.9	1.4 ± 0.8	15.3 ± 4.8	11.3 ± 5.4*	18.1 ± 7.0	10.1 ± 3.2**
	8R	0.8 ± 0.8	2.2 ± 1.3**	10.2 ± 4.3	13.8 ± 4.4**	12.2 ± 6.5	6.6 ± 3.5*
	10R	1.0 ± 0.9	2.7 ± 1.3**	7.5 ± 4.7	15.0 ± 4.2**	10.0 ± 5.3	4.4 ± 3.5*
CR	JN	1.0 ± 0.6	1.2 ± 0.7	10.7 ± 1.8	7.2 ± 2.9**	18.1 ± 5.4	11.3 ± 5.9**
	3R	1.5 ± 1.0	1.7 ± 1.1	14.1 ± 3.3	9.0 ± 4.6**	21.3 ± 6.2	10.9 ± 5.5**
	XP	4.4 ± 1.5	1.9 ± 1.2**	18.7 ± 4.9	10.4 ± 5.1**	20.4 ± 6.9	9.6 ± 4.6**
	8R	5.2 ± 2.2	2.5 ± 1.3**	19.5 ± 4.3	12.1 ± 5.2**	11.7 ± 4.5	6.0 ± 3.1**
	10R	2.8 ± 1.6	4.2 ± 1.9*	10.6 ± 4.2	11.9 ± 3.8	7.7 ± 4.4	3.9 ± 3.2*
OR	JN	2.6 ± 1.6	2.4 ± 1.2	9.6 ± 1.9	6.0 ± 2.6**	16.2 ± 5.4	10.3 ± 6.1**
	3R	3.4 ± 1.7	2.7 ± 1.6	14.7 ± 3.2	8.3 ± 4.1**	21.6 ± 5.9	9.9 ± 5.2**
	XP	6.6 ± 1.9	2.2 ± 1.3**	19.3 ± 4.9	9.7 ± 4.9**	22.4 ± 6.3	9.9 ± 5.2**
	8R	9.7 ± 2.8	2.7 ± 1.6**	19.8 ± 3.7	9.6 ± 4.0**	13.3 ± 4.7	6.1 ± 3.2**
	10R	7.5 ± 5.0	3.6 ± 1.9*	12.2 ± 4.6	8.8 ± 3.7*	4.8 ± 2.9	4.2 ± 2.6

単位：mm，平均値±標準偏差

IR:内側列, CR:中央列, OR:外側列, JN:胸骨頸切痕, 3R:第3肋骨, XP:胸骨剣状突起, 8R:第8肋骨, 10R:第10肋骨, Wilcoxon の符号付順位和検定, *: p<0.05, **: p<0.01

表6 2条件間の呼気時の縮小変化量の比較（直立位右側と側屈位側屈側）

		左右方向		前後方向		上下方向	
		直立位(右)	側屈側	直立位(右)	側屈側	直立位(右)	側屈側
IR	JN	0.9 ± 1.2	0.2 ± 0.3	2.1 ± 1.7	2.4 ± 2.1	3.7 ± 2.3	3.1 ± 3.7
	3R	0.6 ± 0.4	0.2 ± 0.4*	3.4 ± 2.6	4.0 ± 3.3	4.2 ± 2.5	2.1 ± 2.1**
	XP	1.0 ± 0.7	0.8 ± 0.7	5.0 ± 2.7	3.8 ± 3.2	3.3 ± 2.3	1.3 ± 2.8
	8R	1.3 ± 1.5	0.4 ± 1.0*	9.0 ± 5.7	5.5 ± 3.9*	3.6 ± 2.8	1.7 ± 2.3
	10R	2.0 ± 1.3	0.6 ± 1.2**	13.4 ± 8.5	6.3 ± 4.2*	2.7 ± 2.0	0.1 ± 2.5*
CR	JN	1.0 ± 0.8	0.9 ± 0.6	2.3 ± 1.6	2.4 ± 1.7	3.5 ± 2.1	3.1 ± 3.9
	3R	1.4 ± 0.7	1.0 ± 0.5	3.7 ± 2.6	3.7 ± 3.3	4.4 ± 2.1	1.5 ± 2.2**
	XP	1.1 ± 0.7	1.3 ± 0.8	4.7 ± 2.5	3.4 ± 2.7	3.2 ± 2.5	0.9 ± 2.7
	8R	2.2 ± 1.4	1.5 ± 0.6	8.4 ± 4.5	5.2 ± 2.9*	2.6 ± 2.0	1.0 ± 1.9*
	10R	2.2 ± 1.6	1.5 ± 1.4	9.9 ± 5.7	4.9 ± 3.5*	2.3 ± 1.7	-0.4 ± 2.6*
OR	JN	1.4 ± 0.9	1.3 ± 0.7	1.5 ± 1.9	0.7 ± 1.2	2.7 ± 1.7	1.4 ± 3.6
	3R	1.7 ± 1.0	1.5 ± 1.2	2.6 ± 2.1	2.6 ± 2.1	3.8 ± 1.8	0.6 ± 2.3**
	XP	2.2 ± 1.5	1.4 ± 1.0	4.4 ± 2.7	2.9 ± 2.3	3.0 ± 1.9	0.4 ± 2.6*
	8R	2.6 ± 1.4	0.4 ± 1.0**	6.9 ± 3.8	3.4 ± 2.4*	2.2 ± 1.6	-0.2 ± 2.1**
	10R	2.4 ± 1.7	0.9 ± 1.4*	6.9 ± 4.0	3.4 ± 2.6*	2.4 ± 1.9	-1.7 ± 2.6**

単位：mm，平均値±標準偏差

IR：内側列，CR：中央列，OR：外側列，JN：胸骨頸切痕，3R：第3肋骨，XP：胸骨剣状突起，8R：第8肋骨，10R：第10肋骨，Wilcoxonの符号付順位検定，*：p<0.05，**：p<0.01

表7 2条件間の呼気時の縮小変化量の比較（直立位左側と側屈位非側屈側）

		左右方向		前後方向		上下方向	
		直立位(左)	非側屈側	直立位(左)	非側屈側	直立位(左)	非側屈側
IR	JN	0.7 ± 0.5	0.2 ± 0.4*	2.0 ± 1.2	1.6 ± 1.6	4.0 ± 2.5	2.5 ± 2.5*
	3R	0.7 ± 0.5	0.3 ± 0.3*	3.4 ± 2.4	2.5 ± 2.3	4.2 ± 2.6	2.4 ± 1.7*
	XP	0.7 ± 0.7	0.3 ± 0.4	4.7 ± 2.5	2.6 ± 2.2*	3.5 ± 2.3	2.5 ± 2.4
	8R	1.7 ± 1.2	1.5 ± 0.8	9.0 ± 5.7	4.1 ± 3.5**	5.2 ± 3.8	2.2 ± 2.2*
	10R	2.2 ± 1.5	1.5 ± 1.1*	13.9 ± 9.0	5.3 ± 4.5*	3.5 ± 2.5	1.3 ± 1.5*
CR	JN	1.1 ± 0.9	0.2 ± 0.4**	2.4 ± 1.5	2.2 ± 1.9	4.1 ± 2.5	2.8 ± 2.4
	3R	1.1 ± 0.8	0.8 ± 0.6	3.7 ± 2.6	2.9 ± 2.4*	4.4 ± 2.7	2.8 ± 1.8*
	XP	1.0 ± 0.8	0.8 ± 0.6	4.4 ± 2.2	2.8 ± 2.1	3.5 ± 2.3	3.0 ± 2.4
	8R	2.1 ± 1.5	1.3 ± 0.8	8.7 ± 5.6	3.4 ± 2.4*	4.5 ± 3.2	2.2 ± 1.9
	10R	2.4 ± 1.5	1.7 ± 1.3	9.6 ± 6.6	4.1 ± 3.7**	3.1 ± 2.5	1.5 ± 1.4
OR	JN	1.5 ± 1.4	0.5 ± 0.7*	1.4 ± 0.9	1.6 ± 1.1	3.1 ± 2.2	2.5 ± 1.6
	3R	1.8 ± 1.4	0.9 ± 0.8*	2.9 ± 1.7	2.3 ± 2.1	4.0 ± 2.6	2.9 ± 1.8
	XP	1.8 ± 1.5	1.3 ± 0.9	5.2 ± 3.5	2.8 ± 2.4	3.3 ± 2.2	2.8 ± 2.4
	8R	2.8 ± 2.2	2.1 ± 1.6	6.4 ± 3.8	3.2 ± 2.7*	3.6 ± 2.9	2.9 ± 1.9
	10R	2.2 ± 1.6	1.8 ± 1.5	7.4 ± 4.9	2.6 ± 2.8*	2.1 ± 1.7	1.0 ± 1.4

単位：mm，平均値±標準偏差

IR：内側列，CR：中央列，OR：外側列，JN：胸骨頸切痕，3R：第3肋骨，XP：胸骨剣状突起，8R：第8肋骨，10R：第10肋骨，Wilcoxonの符号付順位検定，*：p<0.05，**：p<0.01

のに不快さを感じることであるため、各対象者の主観により異なる。そのため、条件設定は各対象者の主観的快適さの中で行った。このときの側屈角度は各対象者、各部位同様の傾向の中で推移していることが示され、一定の条件下での測定が行えたと考える。

次に、呼吸量の変化について検討する。本研究結果では、一回換気量は2条件間での差は認められず、吸気量、呼気量においては有意差を認めた。すなわち、安静呼吸では、2条件とも一定の呼吸量を保つことができるが、努力呼吸では、側屈位では十分な換気量を得ることが難しくなっていることが分かる。このことを踏まえ、胸壁運動の変化量について考察し、側屈位における胸壁運動の特徴を検討する。側屈位の体幹形状変化は前額面での変化であり、胸部体幹の形状シルエットに着目すると、側屈側が短縮し、非側屈側が伸長した四角形となっている。この四角形の形状変化は、吸気時では直立位に比べ、側屈位の側屈側、非側屈側ともに変化量が小さくなった。また、側屈位では側屈側に比べ非側屈側の変化量が小さくなる傾向がみられる。一方、呼気時では上下方向の変化は非側屈側に比べ側屈側の変化が小さくなっており、非側屈側では直立位と大きな変化がみられなかった。これらの結果から側屈位では非側屈側に比べ側屈側で吸気運動が大きく、呼気運動では側屈側に比べ非側屈側の方が大きくなることが分かった。呼吸量の結果を踏まえると、側屈位の吸気運動は、側屈側、非側屈側ともに胸壁運動に拡張制限があり、このことが吸気量の減少に関係していることが示唆された。さらに、非側屈側の拡張制限の方が大きくみられていることも特徴的である。側屈位の呼気運動では、側屈側の縮小運動が制限されており、呼気量の減少の要因となっていることが分かった。すなわち、側屈位では肋間が離開している非側屈側では、それ以上の拡張が制限された状態であり、吸気運動に不適であり、肋間が接近している側屈側では、胸壁運動の縮小が制限され、呼気運動に不適となっている。

側屈位はデータが示すように呼吸運動には不適な姿勢である。側彎症患者などでは体幹の一部は常に側屈位であり日常的な姿勢となっていると考えられる。Jonesらは13歳～17歳の児童を対象に側彎症群と健常群では、側彎症群は肺を膨張させる機能が低下しているが、胸壁の動きは健常群と同等であると報告している⁴⁾。一方で、Leongらは健常者に比べ側彎症患者では胸壁運動の大きさが有意に小さくなったと報告している¹⁷⁾。同様に小谷らは側彎症患者では上位胸壁よりも下位胸壁の動きが小さくなり、左右の比較では凸側の動きが有

意に小さくなると報告している¹⁸⁾。本研究結果では吸気運動では側屈側（凹側）の変化量の方が大きく、呼気運動では非側屈側（凸側）の変化量が大きく測定された。このことを踏まえ、側屈位の胸壁運動の視点から、側彎症患者の運動指導を検討すると、凹側（側屈側）の伸長を吸気と同時に行うことで凹側（側屈側）の吸気運動の改善が見込めると考える。一方、呼気運動では非側屈側の変化量が大きいことより、呼気と同時に凸側（非側屈側）の短縮を行うことで、非側屈側の吸気位固定の改善を効率的に行うことができると考える。

体幹の側屈は体幹部のストレッチなどでしばしば行われており、呼吸器疾患々々においても非側屈側を伸張することで吸気時の胸壁拡張を促すことが行われている。しかし本研究結果からは、吸気は側屈側が主となる運動であることが示され、ストレッチにより運動範囲を拡大することを目的とするのであれば、非側屈側のストレッチは呼気とともに行うことが望ましいと考えられる。本間らが中枢末梢ミスマッチ説に基づき提唱した呼吸筋ストレッチ体操（Respiratory Muscle Stretch Gymnastics : RMSG）は、慢性閉塞性肺疾患々々を中心にその効果が報告されている¹⁹⁾。RMSGは呼吸筋の筋紡錘に対して筋の伸長刺激を加えることにより、呼吸運動に対する中枢からの運動出力と神経受容器からの求心性入力をマッチした状態にすることを目的としている。このRMSGの第3は呼気とともに非側屈側を伸張するものであり、理論背景はまったく異なるものであるが、本研究結果から胸壁運動を促すと考えられる運動方法と同様の運動となっている。このことから呼気に伴い側屈運動を行い、非側屈側を伸張することは、神経・筋生理学的な考えや体表運動の観察からも、胸壁運動の改善に有用であることが分かる。

測定結果から、側屈位は直立位に比べると吸気運動に対しては拘束的な肢位となっている。しかし、側屈側と非側屈側とを別々に解析するとそれぞれに特徴があり、呼吸運動とうまく同期させることで制限因子としてではなく、局所的な運動の改善ができることが示唆された。これは脊椎の部分的な側屈位が恒常的となっている側彎症患者においても呼吸法として利用できる可能性がある。また、安静臥位時のポジショニングにおいても、呼吸機能悪化の予防、あるいは、片側の病変に対する対応として、側屈位の利用により片側の呼吸運動の改善を見込めることが推測できる。

本研究は胸壁形状変化に着目し、体幹側屈位による胸壁運動への影響を解析検討した。しかし、本測定方

法では肋骨の動きを捉えることはできていない。呼吸運動では横隔膜の働き、肋骨の動きが重要であり、その機能、動きは無視できないものである。本研究では、横隔膜機能や肋骨運動は正常と判断された健康成人例が対象であり、横隔膜や肋骨運動が適切に機能した結果、表出されている胸壁運動を測定している。限定した対象での測定であり、疾患や横隔膜の機能不全、肋骨の欠損などがあった場合、その変化がどのように表出されるかは、今後の検討課題の一つである。また本研究では、近年多くの体表測定において問題視されている *skin movement* についての言及を避けている。肋骨は胸壁の皮下を回転しながら動いている。この動きの詳細を体表より測定することには、まだ多くの課題が残っており、更なる検討が必要である。

引用文献

- 1) 日本呼吸管理学会呼吸リハビリテーションガイドライン作成委員会, 日本呼吸器学会ガイドライン施行管理委員会, 日本理学療法士協会呼吸リハビリテーションガイドライン作成委員会 (編): 呼吸リハビリテーションマニュアル—運動療法—. 照林, 東京, 2003, pp27-28.
- 2) 山田峰彦, 柿崎藤泰, 渋谷まさと・他: 慢性閉塞性肺疾患患者における呼吸筋ストレッチ体操の4週間の臨床効果. 日本胸部疾患学会雑誌, 1996, **34**(6): 646-652.
- 3) 山中悠紀, 石川 朗, 宮坂智哉・他: 慢性閉塞性肺疾患患者に対する非監視下での在宅運動プログラムとしての「ながいき呼吸体操」の検討. 日本老年医学会雑誌, 2009, **46**: 154-159.
- 4) Jones RS, Kennedy JD, Hashm F, et al.: Mechanical inefficiency of the thoracic cage in scoliosis. *Thorax*, 1981, **36**: 456-461.
- 5) Pehrsson K, Bake B, Larsson S, et al.: Lung function in adult idiopathic scoliosis: a 20 year follow up, *Thorax*, 1991, **46**: 474-478.
- 6) 高橋世賢, 鈴木信正, 小野俊明・他: 脊柱側彎症における胸郭変形と肺機能の検討. 脊柱変形, 2000, **15**(1): 20-23.
- 7) 小谷俊明, 南 昌平, 高橋和久・他: Dynamic Breathing MRIを用いた特発性側彎症患者における呼吸運動の解析. 脊柱変形, 2003, **18**(1): 31-35.
- 8) Aliverti A, Pedotti A: Opto-Electronic Plethysmography. *Monaldi Arch Chest Dis*, 2003, **59**(1): 12-16.
- 9) Cala SJ, Kenyon CM, Ferrigno G, et al.: Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. *J Appl Physiol*, 1996, **81**: 2680-2689.
- 10) 仲保 徹, 山本澄子: 脊柱後彎位が胸郭運動に与える影響—Slump SittingとStraight Sittingの比較から—. 理学療法科学, 2009, **24**(5): 697-701.
- 11) Johnson BD, Weisman IM, Zeballos RJ, et al.: Emerging concepts in the evaluation of ventilatory limitation during exercise. The exercise tidal flow-volume loop. *Chest*, 1999, **116**: 488-503.
- 12) 野添匡史, 間瀬教史, 杉浦みどり・他: 体幹前傾姿勢が肺気量位と呼吸運動に与える影響. 理学療法科学, 2007, **34**(6): 254-259.
- 13) Aliverti A, Kayser B, Macklem PT: A human model of pathophysiology of chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology*, 2007, **12**: 478-485.
- 14) Aliverti A, Quaranta M, Chakrabarti B: Paradoxical movement of the lower ribcage at rest and during exercise in COPD patients. *Eur Respir J*, 2009, **33**(1): 49-60.
- 15) Kenyon CM, Cala SJ, Yan S, et al.: Rib cage mechanics during quiet breathing and exercise in humans. *J Appl Physiol*, 1997, **83**(4): 1242-1255.
- 16) Aliverti A, Dellaca R, Pelosi P, et al.: Compartmental analysis of breathing in the supine and prone positions by Opto-Electronic Plethysmography. *Ann Biomed Eng*, 2001, **29**: 60-70.
- 17) Leong JC, Lu WW, Luk KD, et al.: Kinematics of the chest cage and spine during breathing in healthy individuals and in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 1999, **24**: 1310-1315.
- 18) 小谷俊明, 南 昌平, 高橋和久・他: 超音波式動作解析システムを用いた側彎症患者における吸気時3次元胸壁運動の解析. 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 2002, **23**: 441-445.
- 19) 本間生夫: 呼吸筋ストレッチ体操 レッスン編. 独立行政法人環境再生保全機構, 東京, 2002.