

報 告

呼吸ガス分析からみた呼吸パターンの
5段階評価法の検討*川俣幹雄¹⁾ 吉田一正²⁾ 酒井美和子³⁾ 千住秀明⁴⁾

要旨

触診法による腹部隆起と斜角筋の収縮タイミングから呼吸パターンを5つのgradeに分類する評価法を考案し、この5段階評価法を検討した。呼吸器疾患147例を対象に5段階評価法でのgrade分類とHugh-Jones評価、安静時呼吸ガス分析を行い、評価法との関連性を検討した。その結果、一回換気量(平均値)は5度: 627.8 ml/min, 4度: 627.6 ml/min, 3度: 513.9 ml/min, 2度: 436.9 ml/minでありgradeの低下とともに減少する傾向にあった。呼吸数(平均値)は逆に5度: 13.7 f/min, 4度: 15.5 f/min, 3度: 17.2 f/min, 2度: 20.5 f/minと増加傾向にあった。O₂に対する換気当量(平均値)は5度: 41.8, 4度: 49.5, 3度: 50.8, 2度: 55.2であり、吸気相で早期に斜角筋が収縮する症例ほど換気効率が低下する傾向が示された。また、Hugh-Jones分類との有意な相関($r = -0.444$)も認められた。これらのことから5段階評価法は、呼吸器疾患の呼吸機能特性を反映していると推測された。

キーワード 呼吸パターン, 斜角筋, 5段階評価法

緒 言

正常な換気運動は、主に胸腔内での横隔膜のピストン運動によって営まれる。横隔膜の収縮は、

胸腔内圧の陰圧の増大と腹腔内圧の上昇をもたらす。こうした横隔膜の筋活動は、吸気相では腹部膨隆と下部胸郭の横径の拡大、上部胸郭の前後径の拡大という、胸腹部の同期的運動として観察される。

しかし、ひとたび肺過膨脹や間質性変化、胸郭コンプライアンスの低下、呼吸筋疲労の病変が生じ、正常な換気運動が維持できなくなると、Hoover's signなどのいわゆる異常呼吸パターンが出現する。その意味で、呼吸パターンの変動は、患者の生体情報をリアルタイムで得ることができる重要な臨床所見の一つである。しかしその反面、検者の五感への依存性が強いことから、定量的・定性的表現が困難であるという側面をもつ。胸式優位か、腹式優位かの臨床的基準も必ずしも明確

* Study of a 5-Grade Evaluation Method of Breathing Patterns by the Expired Air Gas Analysis

- 1) 長崎医療技術専門学校
(現所属 〒850 長崎県長崎市松ヶ枝町3-20 南長崎クリニック)
Mikio Kawamata, RPT: Nagasaki Medical College
- 2) 八鹿病院理学療法科
Kazumasa Yoshida, RPT: Department of Physical Therapy, Youka Hospital
- 3) 大久保病院理学療法科
Miwako Sakai, RPT: Department of Physical Therapy, Ookubo Hospital
- 4) 長崎大学医療技術短期大学部
Hideaki Senjuu, RPT: School of Allied Medical Sciences, Nagasaki University
(受付日 1997年3月3日/受理日 1997年8月22日)

表1 腹部隆起と斜角筋からみた呼吸パターンの5段階評価法

grade	腹部隆起と斜角筋の収縮パターン
5度	腹部の隆起のみが認められるもの
4度	腹部の隆起が先に起り、吸気終末に斜角筋が収縮するもの
3度	腹部の隆起と斜角筋の収縮が同時に起こるもの
2度	斜角筋が先に収縮して、腹部の隆起が起こるもの
1度	斜角筋のみが収縮するもの

ではない。

そこで筆者らは、呼吸運動における腹部の動きと斜角筋の筋活動特性に着目し、表1に示したような呼吸パターンの評価法を仮説として考案し、臨床応用を図っている¹⁾²⁾。

この評価法は、触診法による腹部隆起と斜角筋の収縮タイミングから、呼吸様式を5つの grade に分類し呼吸パターンの評価に、一定の臨床的指標を与えようとするものである。

斜角筋や胸鎖乳突筋などの頸部筋群は、換気不全の重症化にともない筋緊張の亢進を認めることが多い。拘束性肺疾患では斜角筋が肥大し、閉塞性肺疾患では胸鎖乳突筋の肥大を認めることが多いが、宮城³⁾は中斜角筋は換気障害のパターンを問わず、筋緊張が亢進していることを報告している。従来、斜角筋は呼吸補助筋と位置づけられていた。しかし、Troyer⁴⁾が斜角筋の筋活動は正常者の安静背臥位でも認められることを報告して以来、横隔膜とともに吸気の主動作筋として位置づける考え方が支配的となってきた。

吸気相での斜角筋の筋活動量の増大は、換気運動における胸郭の拡張不全や横隔膜運動の機能的限界を代償するものと考えられ、肺疾患患者の換気パターンの特徴を反映していると推測される。

5段階評価法での grade 分類は、吸気相で腹部の隆起のみが認められるものを5度、腹部の隆起が先に起こり、吸気終末に斜角筋が収縮するものを4度、腹部の隆起と斜角筋の収縮が同時に起こるものを3度、斜角筋が先に収縮して腹部の隆起が起こるものを2度、斜角筋のみが収縮するものを1度とした。

評価法は grade が低下するほど、横隔膜から

斜角筋への依存性が強くなり、5度・4度が横隔膜優位呼吸パターン、3度が胸腹式混合パターン、2度・1度が上部胸式優位呼吸パターンに相当するようにデザインされている。

しかし、この評価法は呼吸運動における横隔膜と斜角筋の機能特性から、あくまでも演繹的に導き出された仮説であり、実際に患者のどのような呼吸機能特性を反映しているかについては、検討すべき課題として残されていた。

そこで今回この仮説を呼気ガス分析上の呼吸効率から解析し、あわせて呼吸困難感との関連についても検討した。

対 象

対象は呼吸器疾患患者147例である。平均年齢は67.9 ± 11.5歳、性別は男性108例、女性39例であった。基礎疾患の分類は、慢性閉塞性肺疾患(COPD; Chronic Obstructive Pulmonary Disease) 63例、肺結核後遺症38例、肺癌22例、肺線維症12例、塵肺5例、非定型抗酸菌症などその他の疾患7例であった。対象者のBMI (Body Mass Index) は19.9 ± 3.7 kg/m²、肺機能はVC (肺活量) 2,328 ± 956 ml, %VC (%肺活量) 76.1 ± 25.4%, FVC (努力肺活量) 2,194 ± 987 ml, FEV_{1.0} (一秒量) 1,503 ± 839 ml, FEV_{1.0%} (一秒率) 66.4 ± 16.9%, 血液ガスはpH 7.397 ± 0.034, PaO₂ 75.7 ± 14.8 Torr, PaCO₂ 43.9 ± 9.0 Torrであった。

方 法

まず、対象者のHugh-Jones評価を行った。次に、対象者を軽度膝関節屈曲位での安静背臥

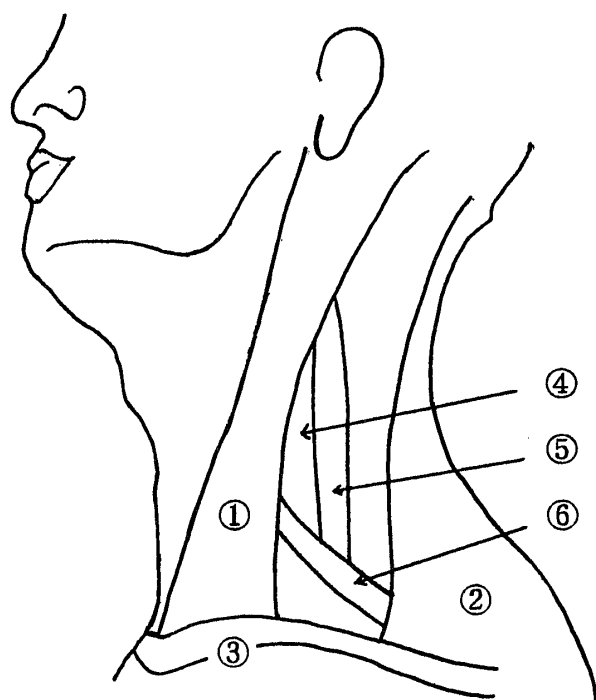


図1 斜角筋の解剖学的位置

- | | |
|--------|--------|
| ①胸鎖乳突筋 | ④前斜角筋 |
| ②僧帽筋 | ⑤中斜角筋 |
| ③鎖骨 | ⑥肩甲舌骨筋 |

位とし、検者の母指で斜角筋を、反対側の手掌で腹部を触診した。腹部隆起と斜角筋の収縮パターンから、上記の grade 分類を行った。触診は全て同一検者が行った。

図1に斜角筋の体表解剖学的位置を示した。斜角筋は前・中・後の3つの筋構成をもち、胸鎖乳突筋鎖骨線維の後縁、僧帽筋前縁、鎖骨上縁で囲まれる後頸三角に位置する。後頸三角は肩甲舌骨筋を境に、肩甲僧帽筋三角と肩甲鎖骨三角に分割されるが、斜角筋は前者のほぼ中央やや下方に分布する。この筋は、換気障害のパターンや重症度で肥大の程度がやや異なるが、吸気相で筋トーンが亢進することが多い。胸鎖乳突筋鎖骨線維の後方を触診すれば、前・中斜角筋を比較的容易に触知することができる。頸部を反対側へ回旋し、同時に前屈すると触診はいっそう容易である。

5段階評価と並行して、breath by breath 方式による呼吸ガス分析（ミナト医科学社製エアロモニター AE 280 S）を行い、一回換気量（ V_T ）、呼吸数（RR）、分時換気量（ \dot{V}_E ）、酸素摂取量

（ $\dot{V}O_2$ ）、炭酸ガス排泄量（ $\dot{V}CO_2$ ）、 O_2 および CO_2 に対する換気当量（ $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ）、死腔換気率（ V_D/V_T ）を測定・解析した。測定は5分間行い、呼吸状態が最も安定した3分間の平均値を、測定値とした。

5段階評価法と Hugh-Jones 分類の関連の解析には χ^2 検定を、上記の呼吸ガス分析上の測定項目との関連の解析には一元配置分散分析を用いた。また同時に、5段階評価と全測定項目の相関分析を行い、スピアマンの順位相関係数の算出と無相関の検定を行った。有意水準はいずれも5%とした。

測定値はすべて平均値±標準偏差値で示した。

結 果

grade 別の症例数は、5度31例、4度39例、3度48例、2度29例であった。

1. 5段階評価法と Hugh-Jones 分類の関連

表2に5段階評価法と Hugh-Jones 分類のクロス集計を示した（症例数は下肢機能障害などのため、Hugh-Jones 分類が困難であった9例を除く138例）。grade 5度では Hugh-Jones I が17例（68%）、grade 4度、3度では Hugh-Jones III がそれぞれ13例（36.1%）、24例（50%）、grade 2度では Hugh-Jones IV が23例（79.3%）と、分布がもっとも高い傾向にあり、 χ^2 独立性検定では両者に有意な関連が認められた（ $\chi^2=87.93$, df: 12, $p<0.05$ ）。また、相関分析での順位相関係数は $r=-0.444$ ($p<0.05$) であり、

表2 5段階評価法と Hugh-Jones 分類のクロス集計

5段階評価法	Hugh-Jones 分類					計
	I	II	III	IV	V	
5度	17	4	3	1	0	25
4度	10	5	13	5	3	36
3度	2	4	24	14	4	48
2度	0	0	5	23	1	29
計	29	13	45	43	8	138

数値は症例数。n=138例（147例中 Hugh-Jones 分類が困難であった9例を除く）。 χ^2 値: 87.93, df: 12, $p<0.05$ 。

表3 5段階評価法と換気機能の関連

	5度	4度	3度	2度
V_T (ml)	627.8 ± 149.4	627.6 ± 224.6	513.9 ± 166.4	436.9 ± 152.7
RR (f/min)	13.7 ± 3.2	15.5 ± 3.3	17.2 ± 5.5	20.5 ± 5.8
\dot{V}_E (L/min)	8.125 ± 1.298	9.419 ± 3.439	8.639 ± 3.045	8.244 ± 2.316
$\dot{V}O_{2/w}$ (ml/kg/min)	3.42 ± 0.45	3.61 ± 0.89	3.55 ± 0.89	3.26 ± 0.76
$\dot{V}CO_2$ (ml/min)	175.2 ± 26.9	178.7 ± 61.9	155.1 ± 51.9	142.0 ± 23.9
$\dot{V}_E/\dot{V}O_2$	41.8 ± 6.5	49.5 ± 8.2	50.8 ± 14.9	55.2 ± 14.7
$\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$	46.8 ± 6.3	53.2 ± 8.1	55.4 ± 14.1	58.4 ± 14.7
V_D/V_T	0.433 ± 0.03	0.450 ± 0.04	0.470 ± 0.04	0.470 ± 0.041

*; $p < 0.05$. V_T : 一回換気量, RR: 呼吸数, \dot{V}_E : 分時換気量, $\dot{V}O_{2/w}$: 酸素摂取量/体重, $\dot{V}CO_2$: 炭酸ガス排泄量, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$: O_2 の換気当量, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$: CO_2 の換気当量, V_D/V_T : 死腔換気率.

gradeの低下とともに日常生活上の呼吸困難感が増悪する傾向が認められた。

2. 5段階評価法と換気機能の関連

表3に5段階評価法と換気機能の関連を示した。

一回換気量は grade 5度が 627.8 ± 149.4 ml, 4度が 627.6 ± 224.6 ml, 3度が 513.9 ± 166.4 ml, 2度が 436.9 ± 152.7 ml であり, gradeの低下とともに減少し, 群間に有意差を認めた。呼吸数は, 5度が 13.7 ± 3.2 f/min, 2度が 20.5 ± 5.8 f/min であり, 逆に gradeの低下とともに増大し, 群間に有意差を認めた。分時換気量, 体重あたりの酸素摂取量は, 有意な差を認めなかった。 O_2 に対する換気当量は, 5度が 41.8 ± 6.5 , 4度が 49.5 ± 8.2 , 3度が 50.8 ± 14.9 , 2度が 55.2 ± 14.7 であり gradeの低下とともに, 換気効率は低下し群間に有意差を認めた。 CO_2 対

する換気当量も全く同様の傾向であった。死腔換気率は5度が 0.433 ± 0.03 , 4度が 0.450 ± 0.04 , 3度が 0.470 ± 0.04 , 2度が 0.470 ± 0.041 であり, 3度までガス交換効率は低下する傾向にあり, 群間に有意差を認めた。

順位相関係数は一回換気量が $r = 0.444$ ($p < 0.05$), 呼吸数が $r = -0.445$ ($p < 0.05$), O_2 に対する換気当量が $r = -0.323$ ($p < 0.05$), 死腔換気率が $r = -0.335$ ($p < 0.05$) であり, それぞれ有意な相関を認めた。

考 察

1. 5段階評価法の背景

換気運動に関する研究は, 肺コンプライアンスと胸郭運動の関連や, 呼吸筋の geometry (解剖学的分布) と interactions (相互作用) などをもめぐって, 様々な報告がなされてきた⁵⁾⁶⁾。また,

従来「accessory respiratory muscles」(呼吸補助筋)と呼ばれてきた筋群の運動学的位置づけも、重要な問題の一つとして論議されてきた⁷⁾。

筆者らが、この評価法の考案と臨床応用にあたって、特に斜角筋に着目した理由は次の点にある。

第1に、斜角筋は横隔膜など他の筋群とともに、最も重要な吸気筋であることである。斜角筋は、第2頸椎から第7頸椎の横突起に起始部をもち、第1、第2肋骨に付着し頸椎に対しては前屈作用をもつ。呼吸運動における位置づけに関しKapandji⁸⁾は、外肋間筋、胸肋筋、横隔膜を吸気の主動作筋、胸鎖乳突筋、斜角筋などを吸気補助筋とし、斜角筋は頸椎が固定されたときのみ、吸気作用をもつとした。しかし、Troyer⁴⁾は、斜角筋は正常者の安静背臥位でも筋活動が認められ、上位肋骨の挙上と上部胸郭の拡張に関与していることを報告した。こうした筋活動は胸鎖乳突筋などでは認められず、横隔膜、斜角筋、内肋間筋傍胸骨部に固有のものだと論じている。Fishman⁹⁾もTroyerらの先行研究を総括して、斜角筋を呼吸補助筋とは区別し、外肋間筋、内肋間筋傍胸骨部とともに「essential muscles of respiration」という明確な位置づけを与えている。

第2に、換気運動の亢進を最も敏感に反映している点である。

臥位から立位への姿勢変換や、運動時の換気量の増大、吸気抵抗負荷時などに斜角筋の筋活動量は増大するといわれている¹⁰⁾。特に、横隔膜が長さ一張力関係から、その筋収縮効率を著しく低下させる高肺気量域での重要性が注目されている。このような斜角筋の筋活動の増大は、換気運動における横隔膜の機能的限界を代償するものと考えられるが、各種の呼吸筋のなかで、この筋と内肋間筋傍胸骨部に最も典型的な応答と考えられている。

2. 5段階評価法の臨床的意義

5段階評価法と測定項目の関連分析から、この評価法は肺疾患患者の次のような呼吸機能特性を

反映していると考えられる。

第1に一回換気量、呼吸数などの換気系パラメーターである。一回換気量は、5度、4度の横隔膜呼吸群ではそれぞれ、 $627.8 \pm 149.4 \text{ ml}$ 、 $627.6 \pm 224.6 \text{ ml}$ であり、2度では $436.9 \pm 152.7 \text{ ml}$ と明らかに低く、逆に呼吸数は増大していた。吸気相での腹部の膨隆不全と斜角筋の筋活動域の拡大は、肺疾患患者の換気系パラメーターを反映していると考えられる。

第2に、換気当量、死腔換気率などの呼吸効率である。吸気相で腹部隆起よりも早期に斜角筋の収縮を認める症例では、 O_2 、 CO_2 に対する換気当量は増大する傾向にあり、呼吸効率は明らかに低下していた。死腔換気率もほぼ同様の傾向であった。

第3に呼吸困難感である。5段階評価法とHugh-Jones分類の順位相関係数は、 $r = -0.444$ ($p < 0.05$)であり、安静時に斜角筋の筋活動の亢進を認める症例では、ADL上の呼吸困難感も増悪する傾向がみられた。呼吸困難感の発生機序については、諸説があり定説に至っていない。換気ドライブの亢進にともなう、横隔膜筋活動量の増大と筋疲労説もそのひとつである。しかし最近の研究で、Bradley¹¹⁾やBarach¹²⁾は、横隔膜の筋活動と呼吸困難感には直接の関連はないことを報告している。彼らは、呼吸困難感の重要な因子として肋間筋と頸部筋の筋活動量の増大を指摘しており、この研究での傾向も基本的にそれに合致しているといえる。

5段階評価法は、上記3点の呼吸機能特性を反映しており、患者の呼吸パターンの変動や呼吸法指導後の効果判定において、一定の臨床的指標を与えることができると思われる。この評価法は、特別の機器を必要としない触診法の技術である。習熟すれば、安静時のみならず運動時の触診も可能であり、また職種を問わない汎用性がある。

評価法としての確立のためには、検者間信頼性や再現性などの問題を含め、残されている課題も少なくない。特に、吸気相での横隔膜と斜角筋の収縮サイクルに関する、筋電図学的研究は重要な

課題であろう。

本稿の要旨は、第31回日本理学療法士学会(1996年、名古屋)で発表した。

参考文献

- 1) 千住秀明：改訂 呼吸リハビリテーション入門。神陵文庫，神戸，1993，pp 61-62.
- 2) 川俣幹雄，吉田一正・他：横隔膜呼吸のグレード評価法と肺換気諸量・呼吸効率および Hugh-Jones 分類の関連。理学療法学 23 (学会特別号)：107，1996.
- 3) 宮城征四郎・伊礼壬紀夫・他：肺機能障害における前，中，後斜角筋の動向。昭和61年度厚生省特定疾患呼吸不全調査班業績集：129-131，1987.
- 4) Troyer DA, Estenne M: Coordination between rib cage muscles and diaphragm during quiet breathing in humans. J Appl Physiol 57: 899-906, 1984.
- 5) Walsh JM, Webber CL, *et al.*: Structural change of the thorax in chronic obstructive pulmonary disease. J Appl Physiol 72: 1270-1278, 1992.
- 6) DiMarco AF, Supinski GS, *et al.*: Inspiratory muscle interaction in the generation of changes in airway pressure. J Appl Physiol 66: 2573-2578, 1989.
- 7) Frownfelter DL: Chest Physical Therapy and Pulmonary Rehabilitation. 2nd ed, Year Medical Publishers, Inc, 1987, pp 6-17.
- 8) Kapandji IA: 関節の生理学，Ⅲ体幹・脊柱。萩島秀男(監訳)。医歯薬出版，東京，1988，p 142.
- 9) Fishman AP, *et al.*: Pulmonary Rehabilitation. Marcel Dekker, Inc., New York, 1996, pp 524-525.
- 10) *ibid*, pp 68-70.
- 11) Bradley TD, Chartrand DA, *et al.*: The relation of inspiratory effort sensation to fatiguing patterns of the diaphragm. Am Rev Respir Dis 134: 1119-1124, 1986.
- 12) Barach AL: Chronic obstructive lung disease, postural relief of dyspnea. Arch Phys Med Rehabil 55: 494-504, 1974.

〈Abstract〉

**Study of a 5-Grade Evaluation Method of Breathing Patterns
by the Expired Air Gas Analysis**

Mikio KAWAMATA, RPT
Nagasaki Medical College

Kazumasa YOSHIDA, RPT
Department of Physical Therapy, Youka Hospital

Miwako SAKAI, RPT
Department of Physical Therapy, Ookubo Hospital

Hideaki SENJU, RPT
School of Allied Medical Sciences, Nagasaki University

We have newly developed a 5-grade evaluation method, which consists in classifying breathing patterns from abdominal rising and scalenic contraction timing via palpation, and examined the reliability of the method.

In 147 cases of respiratory diseases, grade classification with the 5-grade evaluation method, Hugh-Jones' evaluation and resting expired air gas analysis were performed, and their results were compared each other.

The average value of tidal volume (V_T) tended to decrease with decreasing the grade; 627.8 ml/min in degree 5, 627.6 ml/min in degree 4, 513.9 ml/min in degree 3, and 436.9 ml/min in degree 2. The average value of respiratory rate (RR) tended to increase; 13.7 f/min in degree 5, 15.5 f/min in degree 4, 17.2 f/min in degree 3, and 20.5 f/min in degree 2, and ventilatory equivalent for oxygen ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) tended to increase; 41.8 in degree 5, 49.5 in degree 4, 50.8 in degree 3, and 55.2 in degree 2. Cases of earlier scalenic contraction at inspired air phase showed a tendency of lower respiratory efficiency. The results of the 5-grade evaluation method exhibited a significant correlation ($r = -0.444$) with those of Hugh-Jones' classification. These results suggest that the present 5-grade evaluation method can reflect the respiratory function of patients with respiratory diseases.