

原著：秋田大学医学部保健学科紀要12(1)：53-57, 2004

咳嗽力の測定再現性と特性

佐々木 誠* 佐藤 峰善** 畠山 和利**

要 旨

本研究の目的は、熱線式スパイロメータを用いて咳嗽時の最大呼気フロー（peak cough expiratory flow；以下 PCEF）の測定を行い、測定再現性について検討し、基本的属性、スパイロメトリー、呼気筋力との関連をみることでこのパラメータの特性を明らかにすることである。健康な男性学生18名を対象にスパイロメトリー、呼気筋力測定、咳嗽力測定を行った。PCEFの測定値のICC(1,1)は0.74であり、ICC(1,2)は0.85であった。咳嗽力と基本的属性、スパイロメトリー、呼気筋力との相関係数は $r = -0.438 \sim 0.456$ であり、統計学的有意には至らなかった。ステップワイズ法による重回帰分析では、 $PCEF = \text{年齢} \times (-0.069) + \text{身長} \times 0.078 - 2.763$ の回帰式が得られた（ $p < 0.05$ ）。以上より、PCEFで測定した咳嗽力は測定再現性があり、年齢と身長の影響を受ける可能性があることが示され、また、ピークフロー値をはじめとしたスパイロメトリーのパラメータ、呼気筋力と相関関係を認めないことから、他のパラメータとは独立した呼吸機能の指標であると考えられた。

はじめに

咳嗽は、気道内分泌物を気道において移動させ体外に排出することを通じて、無気肺や呼吸器感染症の発生を防ぐための重要な役割を担っている¹⁻⁸⁾。正常な咳嗽では、まず吸気相があり、続いての圧縮相では声門を閉じた状態で呼気筋を収縮させ胸腔内圧を高める。呼気相で声門を急速に開放することで、気道内の空気が勢いよく気道の外に呼出される^{6,7,9,10)}。咳嗽が反射的に生じる場合には、これに先立って誘発刺激が加わる¹¹⁾。効率のよい咳嗽によって呼気流速が高まり、気道内分泌物は口腔側へと移動する^{4,6,10)}。呼吸器疾患⁶⁾や脊髄損傷^{10,12)}、脊髄側索硬化症や進行性筋ジストロフィーなどの神経筋疾患^{6-8,13-15)}、パーキンソン病などの中枢性変性疾患³⁾を有する者では、呼吸筋の麻痺や筋力の低下、球機能の障害などによって効率のよい咳嗽が阻害される。

咳嗽力（cough intensity⁴⁾、cough strength¹⁶⁾）の測定には、咳嗽時の呼気フロー^{1-10,12,15-19)}、ノイズ²¹⁾、胸

膜圧²²⁾、腹部筋の筋電活動⁴⁾を測定する方法があるが、呼気フローの測定は比較的古くから行われ⁶⁾、最も普及している方法の一つである。咳嗽時の最大呼気フロー（peak cough expiratory flow；以下 PCEF）は、ライトフローメータ¹⁷⁾、ピークフローメータ^{12,16)}、ニューモタコグラフまたはこれを内蔵したスパイロメータ^{1-8,10)}、トゥソメータ^{9,18-20)}で測定されているが、その測定再現性に関する報告^{18,19)}は少なく、また、スパイロメトリーデータや呼吸筋力などの他のパラメータとの関連についても十分には検討されていない。

そこで今回我々は、熱線式スパイロメータを用いて PCEF の測定を行い、測定再現性を検討するとともに、基本的属性、スパイロメトリーデータ、呼気筋力との関連をみることでこのパラメータの特性について検討した。

* 秋田大学医学部保健学科 理学療法専攻
** 秋田大学医学部附属病院 リハビリテーション部

Key Words: 咳嗽力
再現性
スパイロメトリー
呼気筋力

対象と方法

対象は健康な男性学生18名であり、年齢、身長、体重、BMIの平均値±標準偏差（範囲）はそれぞれ26.5±7.0（18～43）歳、172.3±5.9（163～186）cm、64.6±5.8（57～73）kg、21.8±2.0（19.4～26.7）kg/m²であった。すべての対象者には研究前に、研究に関する十分な説明を文書ならびに口頭にて行い、研究に参加する意思を同意書に署名してもらうことで確認した。

この対象者においてスパイロメトリー、呼気筋力測定、咳嗽力測定を行った。スパイロメトリーには、熱線式スパイロメータであるオートスパイロメータシステム7（ミナト医科学社製）を用いた。対象者には坐位にてノーズクリップをつけてマウスピースをくわえ、最大吸気位から最大呼気位までなるべく速く最大努力で息を呼出するよう求めた。少なくとも2回の測定を行い、必要があれば安定した値が得られるまで最大で4回測定した。最も成績がよいと判断された測定時において、測定値のうちの努力性肺活量（以下FVC）、一秒量（以下FEV_{1.0}）、ピークフロー値（以下PFR）をパラメータとして採用した。呼気筋力は呼吸筋力計VITALOPOWER KH-101（Chest社製）を用いて測定し、その測定方法はBlackとHyattの方法²³⁾に従った。すなわち、対象者はノーズクリップをつけた坐位となり、最大吸気位でマウスピースをくわえて最大呼気努力を1秒以上継続した。この方法で口腔内圧を3回測定し、その最大値をもって最大呼気筋力（以下PE_{max}）とした。咳嗽力はPCEFの測定値で示した。その測定には、スパイロメトリーと同一の熱線式スパイロメータ（オートスパイロメータシステム7）を使用した。King Systems社製フェイスマスク（サイズ；Medium Adult）をスパイロメータのマウスピース取付口にリークのないように接続した。対象者は坐位となり、フェイスマスクでリークのないように口と鼻を覆い、最大吸気位から努力性に大きく咳嗽を行った。少なくとも2回の測定を行い、必要があれば安定した値が得られるまで最大で4回測定した。

PCEFの再現性の検討には、繰り返し測定したうちの1回目と2回目の値を採用し、その変動の範囲を計算するとともに、級内相関係数（Intraclass correlation coefficient；以下ICC）を求めた。咳嗽力と基本的属性、スパイロメトリーデータ、呼気筋力との関連を検討する際には、PCEFの最大値を用い、Pearsonの相関関係の検定ならびにステップワイズ重回帰分析を行った。有意確率5%未満をもって有意とした。

結 果

PCEFの対象者ごとの測定値を表1に示した。PCEFの1回目の値から2回目の測定値への変動は0.24～29.06%であった。ICC(1,1)は0.74であり、ICC(1,2)は0.85であった。スパイロメトリー、呼気筋力、咳嗽力の測定値を表2に示した。PCEFは8.90±1.20 l/sであった。咳嗽力と基本的属性、スパイロメトリーデータ、呼気筋力との相関係数は $r = -0.438 \sim 0.456$ であり、年齢、身長、FEV_{1.0}で比較的高い相関係数が得られたが統計学的有意には至らなかった（それぞれ $r = -0.438$ ； $p = 0.069$ 、 $r = 0.423$ ； $p = 0.080$ 、 $r = 0.456$ ； $p = 0.057$ ）（表3）。PCEFを目的変数、年齢、

表1 各対象者の咳嗽力(PCEF)測定値

対象者	1回目測定値	2回目測定値
A	7.58	8.33
B	7.92	8.44
C	7.58	7.53
D	7.30	7.23
E	8.15	8.17
F	11.14	9.94
G	9.00	9.77
H	7.87	7.92
I	8.56	8.96
J	7.92	9.12
K	7.72	7.81
L	9.27	9.98
M	7.60	9.06
N	10.08	10.42
O	8.26	7.30
P	6.16	7.95
Q	9.80	10.49
R	7.23	7.93
平均値±標準偏差	8.29±1.19	8.69±1.07

単位：l/s

表2 スパイロメトリー、呼気筋力、咳嗽力の測定値

FVC	4.33±0.62 l
FEV _{1.0}	3.71±0.52 l
PFR	9.02±1.24 l/s
PE _{max}	150.16±48.37 cmH ₂ O
PCEF	8.90±1.20 l/s

平均値±標準偏差

FVC；努力性肺活量，FEV_{1.0}；一秒量，PEF；ピークフロー値，PE_{max}；最大呼気筋力，

PCEF；咳嗽時の最大呼気フロー

表3 咳嗽力と基本的属性, スパイロメトリーデータ, 呼気筋力との単相関(r)

	年齢	身長	体重	BMI	FVC	FEV _{1,0}	PFR	PEmax
PCEF	-0.438	0.423	0.052	-0.283	0.273	0.456	0.358	-0.242

FVC ; 努力性肺活量, FEV_{1,0} ; 一秒量, PEF ; ピークフロー値, PEmax ; 最大呼気筋力, PCEF ; 咳嗽時の最大呼気フロー

身長, 体重, BMI, FVC, FEV_{1,0}, PFR, PEmax を説明変数としたステップワイズ法による重回帰分析では,

$$PCEF = \text{年齢} \times (-0.069) + \text{身長} \times 0.078 - 2.763$$

の回帰式が得られ, 決定係数 (R^2) は0.338で統計学的に有意であった ($p < 0.05$). しかし, 年齢と身長の偏回帰係数は統計学的に傾向を認めるにとどまった (それぞれ $p = 0.077$, $p = 0.088$) (表4).

表4 咳嗽力と基本的属性, スパイロメトリーデータ, 呼気筋力のステップワイズ重回帰分析

	β	標準化 β	p
(定数)	-2.763		
年齢	-0.069	-0.401	0.077
身長	0.078	0.385	0.088

$$PCEF = \text{年齢} \times (-0.069) + \text{身長} \times 0.078 - 2.763$$

$$R = 0.582, R^2 = 0.338, F = 3.834 (p < 0.05)$$

考 察

今回, 咳嗽力の指標として熱線式スパイロメータを用いたPCEFの測定を行い, 測定再現性ならびに他のパラメータとの関連について検討した.

その結果まず, 1回測定でのICCは0.7以上と中等度の再現性が, 2回測定でのICCは0.8以上と良好な再現性が示された. PCEFの測定再現性に関する報告は少なく, トゥソメータで15回測定した際の各対象者の変動係数は8.7~23.2%, 対象者内の変動性は23.9%であり, スパイロメトリーよりも変動性が小さい¹⁸⁾こと, トゥソメータでの測定再現性は $r = 0.96$ と良好であった¹⁹⁾ことが示されている. 本研究では, 1回目と2回目の測定値の変動は最高で29.06%であり比較的大きい者もいたが, 変動の大きな者では更に3回目,

4回目の測定を行い, 最大値をもってPCEFとした. 再現性はICCによって示されたが, 最大4回測定した本方法で得られた値はより一層信頼性が高いものと考えられる. また, 健常者におけるPCEFの値は, 5~12 l/s¹⁷⁾, 360~960 l/min (6~16 l/s)¹³⁾, 3.61~13.63 l/s⁴⁾, 359 l/min (5.98 l/s)¹¹⁾, 5.31 l/s⁹⁾, 668 l/min (11.13 l/s)⁶⁾と, 測定機材や方法によって様々であるが, 今回男性に限定して得られた平均値8.90 l/sは比較的高い値であり, 容認し得る値であったと考える.

次に, PCEFの基本的属性, スパイロメトリーデータ, 呼気筋力との関連について, 単相関では統計学的に有意に至らず, ステップワイズ法を用いた重回帰分析ではPCEFを目的変数, 年齢と身長を説明変数とした一次回帰式が導き出された. すなわちPCEFは, 年齢が高いほど小さく, 身長が高いほど大きい可能性が示唆された.

咳嗽の第1相である吸気相に関連して, 筋ジストロフィー患者ではPCEFとVCとの間に正の相関があることが報告されている¹³⁻¹⁵⁾. しかしVCが1000 mlを下回る, あるいは%VCが40%を下回る者が含まれており¹³⁻¹⁵⁾, VCの範囲が広いためにPCEFとの間に関連が見出されたものと考えられる. 正常では機能的残気位以上では肺気位は咳嗽力に影響しないとされている^{3,9)}. それは, 肺のコンプライアンスを意味する圧変化と容量変化の関係が, 全肺気位では緩やかな傾斜で描かれるのに対して機能的残気位では急峻になるために, 咳嗽力には肺気量に加えてコンプライアンスが影響するためである^{3,9)}と説明されている. 本研究の対象者は健常者であったため, 肺容量の多さは咳嗽力に影響を与えなかったものと推察される.

第2相では声門が閉じられ, 呼気筋の収縮に伴って胸腔内圧が高まる. これに関連して, 健常者においてPCEFがPEmaxと相関するとの報告がある⁸⁾. しかし, この対象者は小児と成人の神経筋疾患患者の対照群 (健常者群) であり年齢が同等に設定されている⁸⁾. PCEFとPEmaxの両パラメータがともに小さいと考えられる小児から, 両パラメータがともに大きいと考えられる成人までの年齢層が対象であるため, 本研究

で対象とした18～43歳の年齢層よりも年齢幅の影響を受けることでPCEFとPEmaxとの間に相関が示されたものと考えられる。胸腔内圧が最大となるよりも先にPCEFが得られる⁹⁾こと、腹部筋の筋電活動はPCEFとの関係で、筋電活動の最高値($r=0.57$)よりも最高値に至るまでの時間($r=0.71$)の方がPCEFとの相関が高い⁴⁾ことが報告されている。圧縮相において、呼気筋作用による胸腔内の圧縮力の強さに加えて時間的要素、つまり呼気筋の収縮および圧縮力の声門での開放のタイミングがPCEFを規定する可能性がある。

第3相では声門が急速に開放され、蓄えられていた胸腔内の圧縮力によって高速の呼気流が発生する。我々はPCEFに最も類似するパラメータとして、PFRを想定していた。しかし、この2変量間には相関関係を認めなかった。喉頭摘出術後の患者は正常コントロール群と比較してPCEFの値に差がない⁵⁾ことから、声門の機能は咳嗽力に影響を及ぼさない可能性がある一方で、PCEFは声門の機能と関連すると考える²⁴⁾との立場がある。声門を開放する速度に加え、そのタイミングがPCEFの値に影響する可能性があるものと考ええる。

Wangら¹²⁾は、PCEFが年齢と身長に影響されることを記載しており、本研究結果と一致するものである。FVCやFEV₁₀は年齢、身長、性別によって予測値が計算されることから、PCEFも同様にこの3つの基本的属性に影響されることが考えられる。身長が高い者ほど呼気筋を含む全身の筋量が多い可能性、年齢が高い者ほど筋の収縮力が低下し、加えて気道が胸腔内圧の上昇で狭くなりやすくなる可能性がある。本研究では対象を男性に限定したため、性別の影響を提示することはできない。しかし、声門の開放速度が男性よりも女性で速いと考えられる²⁰⁾こと、PEmaxが一般に男性よりも女性の方が弱い^{23,25)}ことからすると、PCEFにも性差があるものと思われる。

以上、PCEFで測定した咳嗽力は測定再現性があり、年齢と身長の影響を受ける可能性があることが示され、また、PFRをはじめとしたスパイロメトリーのパラメータ、呼気筋力と相関関係を認めないことから、他のパラメータとは独立した呼吸機能の指標であると考えられた。

文 献

1) Hasani A, Pavia D, et al.: Regional mucus transport following unproductive cough and forced expiration technique in patients with airways

obstruction. *Chest* 105: 1420-1425, 1994

- 2) Hasani A, Pavia D, et al.: Regional lung clearance during cough and forced expiration technique (FET): effects of flow and viscoelasticity. *Thorax* 49: 557-561, 1994
- 3) Kyroussis D, Polkey MI, et al.: Simulation of cough in man by magnetic stimulation of the thoracic nerve roots. *Am J Respir Crit Care Med* 156: 1696-1699, 1997
- 4) Fontana GA, Pantaleo T, et al.: A noninvasive electromyographic study on threshold and intensity of cough in humans. *Eur Respir J* 10: 983-989, 1997
- 5) Fontana GA, Pantaleo T, et al.: Coughing in laryngectomized patients. *Am J Respir Crit Care Med* 160: 1578-1584, 1999
- 6) Sivasothy P, Brown L, et al.: Effect of manually assisted cough and mechanical insufflation on cough flow of normal subjects, patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and patients with respiratory muscle weakness. *Thorax* 56: 438-444, 2001
- 7) Chaudri MB, Liu C, et al.: Relationship between supramaximal flow during cough and mortality in motor neurone disease. *Eur Respir J* 19: 434-438, 2002
- 8) Chatwin M, Ross E, et al.: Cough augmentation with mechanical insufflation/exsufflation in patients with neuromuscular weakness. *Eur Respir J* 21: 502-508, 2003
- 9) Mahajan RP, Singh P, et al.: Relationship between expired lung volume, peak flow rate and peak velocity time during a voluntary cough manoeuvre. *Br J Anaesth* 72: 298-301, 1994
- 10) Lin KH, Lai YL, et al.: Effects of an abdominal binder and electrical stimulation on cough in patients with spinal cord injury. *J Formos Med Assoc* 97: 292-295, 1998
- 11) Craig LS: *Bronchial hygiene therapy. Fundamentals of respiratory care* 7th ed. pp791-816, Mosby, St. Louis, 1998
- 12) Wang AY, Jaeger RJ, et al.: Cough in spinal cord injured patients: the relationship between motor level and peak expiratory flow. *Spinal Cord* 35: 299-302, 1997
- 13) 三浦利彦: 神経筋疾患における呼吸リハビリテーション理論と基本手技; 筋ジストロフィーを中心に。

- MB Med Reha (7) : 59-65, 2001
- 14) 石川悠加, 三浦利彦・他: 筋ジストロフィー患者の呼吸理学療法に関する研究—Duchenne型筋ジストロフィーにおける咳嗽力評価と訓練効果—. 厚生省精神・神経疾患研究委託費による平成12年度研究報告集 : 77, 2002
- 15) 三浦利彦, 石川悠加・他: 筋ジストロフィー患者の呼吸理学療法に関する研究. 厚生省精神・神経疾患研究委託費による平成11~13年度研究報告書 筋ジストロフィー患者のケアシステムに関する総合的研究 : 275-278, 2002
- 16) Smina M, Salam A, et al.: Cough peak flows and extubation outcomes. *Chest* 124 : 262-268, 2003
- 17) Leiner GC, Abramowitz S, et al.: Cough peak flow. *Am J Med Sci* 251 : 211-214, 1966
- 18) Singh P, Murty GE, et al.: The tussometer: accuracy and reproducibility. *Br J Anaesth* 73 : 145-148, 1994
- 19) Garrel R, Amy de la Breteque B, et al.: Importance of tussometry in unilateral laryngeal paralysis. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 123 : 303-306, 2002 (Abstract)
- 20) Singh P, Mahajan RP, et al.: Relationship of peak flow rate and peak velocity time during voluntary coughing. *Br J Anaesth* 74 : 714-716, 1995
- 21) Piirila P, Sovijarvi AR: Differences in acoustic and dynamic characteristics of spontaneous cough in pulmonary disease. *Chest* 96 : 46-53, 1989
- 22) Arora NS, Gal TJ: Cough dynamics during progressive expiratory muscle weakness in healthy curarized subjects. *J Appl Physiol* 51 : 494-498, 1981
- 23) Black LF, Hyatt RE: Maximal respiratory pressure: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 99 : 696-702, 1969
- 24) Suárez AA, Pessolano FA, et al.: Peak flow and peak cough flow in the evaluation of expiratory muscle weakness and bulbar impairment in patients with neuromuscular disease. *Am J Phys Med Rehabil* 81 : 506-511, 2002
- 25) Chen H, Kuo C: Relationship between respiratory muscle function and age, sex, and other factors. *J Appl Physiol* 66 : 943-947, 1989

Reproducibility and Characteristics of Peak Cough Expiratory Flow

Makoto SASAKI* Mineyoshi SATO** Kazutoshi HATAKEYAMA**

* Course of Physical Therapy, School of Health Sciences, Akita University

** Rehabilitation Division, Akita University Hospital

The purpose of this study was to examine the reproducibility of peak cough expiratory flow (PCEF) measured by thermal spirometer, and to clarify the characteristics through analysis of relationship between this parameter and the fundamental characteristics, spirometry data and expiratory muscle strength. The spirometer data, expiratory muscle strength and PCEF of eighteen male students of normal health were measured. The intraclass correlation coefficient (ICC) (1,1) of measured PCEF was 0.74 and ICC(1,2) was 0.85. The relationship between PCEF and fundamental characteristics, spirometry data and expiratory muscle strength was $r = -0.438 \sim -0.456$, not statistically significant. The equation ; $PCEF = \text{age} \times (-0.069) + \text{height} \times 0.078 - 2.763$ was obtained by stepwise regression ($p < 0.05$). In conclusion, it was shown that cough intensity measured as PCEF has measurement reproducibility, and there is a possible influence by age and height. Furthermore, since PCEF did not relate to spirometry data such as peak flow rate and expiratory muscle strength, cough intensity might be a specific parameter of respiratory function independent from other parameters.