

死腔負荷を用いた簡便な呼吸筋酸素消費量 測定法の検討

Simple Methods of Estimating Oxygen Consumption of the Respiratory Muscles Used Dead Space

居本 健一^{1)*} 上門亜矢子^{2)**} 千住 秀明³⁾

KENICHI ORIMOTO^{1)*}, AYAKO UEJYO^{2)**}, HIDEAKI SENJYU³⁾

¹⁾ Master Course of Health Science, Graduate School of Biomedical Science, Nagasaki University

*Present address: Yamada Red Cross Hospital: 810 Takabuku, Misonotyou, Ise-city, Mie 519-0805, Japan.

TEL +81 596-28-2171

²⁾ Department of Rehabilitation, Nagasakiyurino Hospital

**Present : JICA Japanese Overseas Cooperation Volunteers in Ecuador

³⁾ Department of Health Science, Graduate School of Biomedical Science, Nagasaki University

Rigakuryoho Kagaku 25(1): 45-48, 2010. Submitted Jul. 7, 2009. Accepted Aug. 29, 2009.

ABSTRACT: [Purpose] We examined a simple method of estimating oxygen consumption of the respiratory muscles ($\dot{V}O_2$ resp) using dead space. [Subjects] The subjects were 31 healthy adults who had normal cardiopulmonary function. [Methods] We measured $\dot{V}O_2$ resp of diaphragmatic respiration and costal respiration with simple equipment consisting of an expiration gas analyzer and a one-litre tube. We examined whether decrease of $\dot{V}O_2$ resp by diaphragmatic respiration could be seen using this equipment. [Results] We confirmed a significant decrease of $\dot{V}O_2$ resp in diaphragmatic respiration. [Conclusion] The result indicates we can measure changes in $\dot{V}O_2$ resp by respiration pattern using our simple method.

Key words: dead space, oxygen consumption of the respiratory muscles, diaphragmatic respiration

要旨: [目的] 死腔負荷を用いた簡便な呼吸筋酸素消費量測定法の妥当性を検討すること。[対象] 心肺機能に異常のない健康成人31名とした。[方法] 呼気ガス分析器と1000 mlチューブからなる簡便な呼吸筋酸素消費量測定装置を用いて、健康者の横隔膜呼吸と胸式呼吸の呼吸筋酸素消費量を測定し、横隔膜呼吸による呼吸筋酸素消費量の減少が確認できるか検証した。[結果] 横隔膜呼吸によって、呼吸筋酸素消費量が有意に減少することが確認された。[結語] 簡便な本測定法が呼吸パターンによる呼吸筋酸素消費量の変化を反映できることが示唆された。

キーワード: 死腔負荷, 呼吸筋酸素消費量, 横隔膜呼吸

¹⁾ 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科保健学専攻修士課程

*現所属: 山田赤十字病院 リハビリテーション科: 伊勢市御薗町高向810 (〒519-0805) TEL 0596-28-2171

²⁾ 長崎百合野病院 リハビリテーション科 **現所属: JICA 青年海外協力隊エクアドル派遣

³⁾ 長崎大学大学院 歯薬学総合研究科

受付日 2009年7月7日 受理日 2009年8月29日

I. はじめに

慢性閉塞性肺疾患 (Chronic obstructive pulmonary disease : COPD) 患者は労作性呼吸困難のため日常生活活動 (ADL) が制限される。その原因の一つとして、健康人と比べて呼吸筋酸素消費量 ($\dot{V}O_2 \text{ resp}$) が高いため、活動時に用いることができる酸素量が少なくなり、運動が制限されることが考えられている^{1,2)}。 $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の測定には死腔負荷を利用した方法が多く用いられてきた^{2,3)}。死腔負荷とは生体に存在する生理学的死腔を人為的に拡大することであるが、手順が煩雑で測定に時間がかかることが欠点であった^{2,3)}。最近では、死腔負荷を連続的に増加することのできる死腔負荷装置が開発され、より短時間での測定が可能となり、加齢とともに $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ が増加することやCOPD患者の $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ が健康者の2.8倍であったことなどが報告されている⁴⁻⁶⁾。一方、酸素を効率的に摂取できる呼吸法の一つとして横隔膜呼吸があるが、その効果として1回換気量の増大、呼吸数の減少、分時換気量の減少および換気効率の改善などにより $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ を減少させ呼吸困難を軽減することが知られている⁷⁾。横隔膜呼吸に関しても、死腔を連続的に増加させることのできる死腔負荷装置を用いて、健康者の横隔膜優位の呼吸パターンと胸部優位の呼吸パターンの $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ を測定したところ、横隔膜優位の呼吸パターンの $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の方が有意に低かったとの報告がある⁸⁾。しかし、これらの装置は高額なため広く普及するに至っていない。そこで上門らはチューブを利用した死腔負荷装置と呼気ガス分析器からなる簡便で安価な $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ 測定法を考案し、新たな評価法としての可能性を報告したが⁹⁾、先行研究と比較するなどの妥当性の検討は行われていない。

本研究の目的は、上門らの開発した簡便な $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ 測定法の妥当性を検討することである。手段として横隔膜呼吸 (横隔膜優位の呼吸パターン) と胸式呼吸 (胸部優位の呼吸パターン) の $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ を測定し、先行研究と同様に横隔膜呼吸による $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の減少を確認できるか検証した。

II. 対象と方法

1. 対象

研究の目的や実施手順などについて説明し、同意の得られた心肺機能に異常のない健康成人38名 (男性30名、女性8名) に対して、横隔膜呼吸を指導し、1000 mlの死腔負荷を行った状態で横隔膜呼吸が可能だった31

表1 対象者の身体的特徴

対象者 (人)	31
年齢 (歳)	25.7 ± 5.7 (20 ~ 41)
身長 (cm)	170.8 ± 7.4 (150 ~ 182)
体重 (kg)	63.5 ± 6.2 (50.5 ~ 76)
VC (L)	4.2 ± 0.7 (2.56 ~ 5.55)
%VC (%)	90.2 ± 8.5 (80 ~ 109)
FEV _{1.0%} (%)	86.7 ± 5.7 (78.8 ~ 97.9)

Mean ± SD (Range), VC : 肺活量, FEV_{1.0%} : 一秒率

表2 横隔膜呼吸のグレイド評価

グレイド	横隔膜と斜角筋の収縮パターン
V	横隔膜のみ収縮
IV	横隔膜が収縮して吸気の終わりに斜角筋が収縮
III	斜角筋と横隔膜が同時に収縮
II	斜角筋が収縮して横隔膜が収縮
I	斜角筋のみ収縮

名 (男性28名、女性3名) を対象とした (表1)。横隔膜呼吸の評価にはグレイド評価法¹⁰⁾を用い、グレイドIV、Vを以って腹式呼吸とした (表2)。

2. 方法

$\dot{V}O_2 \text{ resp}$ 測定装置は、直径3.1 cmで容量1000 mlのチューブからなる死腔を呼気ガス分析器 (AE300S, ミナト医科学) のマスクに接続した装置である。1000 mlの死腔を負荷した時の換気動態を測定することができる。

測定肢位は、腹部内臓が横隔膜を圧迫しないように、セザムベッド上背もたれ60°の座位とした。まず全ての対象者に、死腔負荷をかけずに安静時呼吸の呼気ガス分析を行った。その後1000 mlの死腔を負荷した状態で、それぞれ横隔膜呼吸と胸式呼吸の呼気ガス分析を行った。横隔膜呼吸と胸式呼吸を行う順番は封筒法によって無作為に割り当てた。各測定はそれぞれ換気動態が安定するための時間を5分間とり、その後5分間のデータを得た。測定項目は分時換気量 (\dot{V}_E)、呼吸数 (RR)、TV (1回換気量)、体重あたりの酸素消費量 ($\dot{V}O_2/W$)、酸素摂取率 ($\dot{V}O_2/\dot{V}_E$) である。測定中、医用テレメータ BIO-SCOPEM100 (FUKUDA M-E) を装着し、心拍数 (HR) を測定し、終了時に呼吸困難を修正Borg scale (0 ~ 10) にて評価した。各測定は疲労を考慮して、10分以上の間隔を空けHR、Borg scaleが回復してから実施した。

横隔膜呼吸は、前述のように senjyu らのグレイド評価¹⁰⁾を行った。グレイドIV以上が横隔膜優位の呼吸パターンとされる。胸式呼吸では、横隔膜を使用させずに、胸式呼吸を意識しやすくするために幅10 cmの皮ベルトを肋骨より下の腹部に装着させ、吸気時に腹部を拡張させる力を働かせないよう指示した。

$\dot{V}O_2 \text{ resp}$ は、死腔負荷0 mlと1000 mlの際の体重あたりの酸素消費量 $\{\dot{V}O_2/W \text{ (ml/kg/min)}\}$ より $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の指標1を \dot{V}_{D1000} とし、下記の式で定義した。

$$\begin{aligned} & \cdot \dot{V}_{D1000} \text{ (ml/kg/min)} \\ & = (\text{死腔負荷1000 mlの}\dot{V}O_2/W) - (\text{死腔負荷0 mlの}\dot{V}O_2/W) \end{aligned}$$

次に、 \dot{V}_{D1000} を死腔負荷に伴い増加した \dot{V}_E (L/min) の差で割り、1Lの換気を得るのに必要な体重あたりの酸素消費量 (ml/kg/L) を求め、指標2とした。

$$\begin{aligned} & \cdot \dot{V}O_2 \text{ resp1000 (ml/kg/L)} \\ & = \dot{V}_{D1000} \div \{ (\text{死腔負荷1000 mlの}\dot{V}_E) \\ & \quad - (\text{死腔負荷0 mlの}\dot{V}_E) \} \end{aligned}$$

統計処理は、各測定項目について対応ある t-検定を行った。その他の正規分布に従わないデータはWilcoxon符号付順位検定を行った。危険率5%未満をもって有意水準とし、統計ソフトはSPSS (16.0J for Windows) を用いた。

なお、本研究は長崎大学大学院医歯薬学総合研究科の倫理委員会の承認 (承認番号: 08072423) のもと実施した。

III. 結 果

横隔膜呼吸において、胸式呼吸と比較して \dot{V}_E , RR, HR, $\dot{V}O_2/W$, Borg scaleは有意に減少した。TV, $\dot{V}O_2/\dot{V}_E$ は有意に増加した (表3)。

$\dot{V}O_2 \text{ resp}$ に関しては、指標1である \dot{V}_{D1000} は胸式呼吸では $1.9 \pm 1.2 \text{ ml/min/kg}$, 横隔膜呼吸では $1.0 \pm 0.7 \text{ ml/min/kg}$ であり、横隔膜呼吸において有意な減少がみられた (表3)。また指標2の $\dot{V}O_2 \text{ resp1000}$ についても、胸式呼吸において $0.11 \pm 0.06 \text{ ml/kg/L}$, 横隔膜呼吸においては $0.08 \pm 0.09 \text{ ml/kg/L}$ であり、有意な減少がみられた (表3)。

IV. 考 察

今回、上門らの簡便な $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ 測定法⁹⁾ を用いて、胸式呼吸と横隔膜呼吸の $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の測定を行った。結果、横隔膜呼吸において指標1である \dot{V}_{D1000} , 指標2の $\dot{V}O_2 \text{ resp1000}$ ともに有意に減少した。この結果は、健常者の

表3 各測定項目の変化

	胸式呼吸	横隔膜呼吸
\dot{V}_E (ml)	25.3 ± 7.5	$18.5 \pm 6.2^{**}$
RR (fpm)	18.6 ± 7.3	$13.5 \pm 6.2^{**}$
TV (ml)	1412 ± 244	$1626 \pm 370^{**}$
HR	72.3 ± 9.9	$70.1 \pm 9.7^*$
Borg	5.7 ± 1.6	$3.9 \pm 1.4^{**}$
$\dot{V}O_2/W$ (ml/kg)	5.8 ± 1.3	$4.9 \pm 0.8^{**}$
$\dot{V}O_2/\dot{V}_E$ (ml/kg/L)	15.2 ± 4.6	$18.1 \pm 5.2^{**}$
\dot{V}_{D1000} (ml/kg)	1.9 ± 1.2	$1.0 \pm 0.7^{**}$
$\dot{V}O_2 \text{ resp1000}$ (ml/kg/L)	0.11 ± 0.06	$0.08 \pm 0.09^*$

Mean \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

横隔膜優位の呼吸パターンが胸部優位の呼吸パターンよりも $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ が低くなったことを報告しているTaguchiら⁸⁾の報告と同様であった。Taguchiらはコルセットを用いて胸部の動きを制限した群 (横隔膜優位の呼吸パターン) と腹部を制限した群 (胸部優位の呼吸パターン) の $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ を比較して、胸部を制限した群は腹部を制限した群の64%であったと報告している。本研究においては横隔膜呼吸を行わせた場合と胸式呼吸を行わせた場合の $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ を測定し、指標1である \dot{V}_{D1000} では横隔膜呼吸では胸式呼吸の53%, 指標2の $\dot{V}O_2 \text{ resp1000}$ では73%であった。それぞれ横隔膜呼吸による $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の減少が確認できる結果となっており、簡便な本測定法は呼吸パターンの違いによる $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の変化を反映できるものであると考えられる。

また横隔膜呼吸の効果としてTVの増大, RRの減少, \dot{V}_E の減少, 換気効率の改善, 呼吸困難の軽減, $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の減少などが報告されているが⁷⁾, 本研究においてもTVの増加や \dot{V}_E , RR, Borg scaleの減少, TVや $\dot{V}O_2/\dot{V}_E$ の増加が有意にみられ、横隔膜呼吸の効果が改めて確認された。

上門らは $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の指標である \dot{V}_{D1000} はRRと高い相関関係を示し、RRが多いほど $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ が増加し、換気効率が悪く呼吸筋仕事量が増加すると報告している⁹⁾。本研究においても胸式呼吸のRRが有意に高い値を示しており、 $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ 増加の要因である可能性が考えられる。

本研究の結果より上門らの簡便な $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ 測定法によって、高額な機器を使用しなくても $\dot{V}O_2 \text{ resp}$ の指標が評価できる可能性が示唆された。

本測定装置は、呼吸パターンにより呼吸困難の変化を体験することができるため、健常人に対して呼吸不全状態の体験や呼吸法指導にも役立てることができる

と考えられる。

今後の課題として、参加した被験者38名のうち7名が1000 mlの死腔負荷を行った状態での腹式呼吸が不可能であったため、1000 mlの死腔負荷が適切な負荷量であるかどうかの検討が必要である。また今回はRRについての指示は出さなかったが、RRの増加が $\dot{V}O_2$ resp増加の要因となっている可能性が考えられたため、RRを考慮した更なる研究が必要である。

引用文献

- 1) Levison H, Cherniack RM: Ventilatory cost of exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *J Appl Physiol*, 1968, **25**: 21-27.
- 2) Cherniack RM: The oxygen consumption and efficiency of the respiratory muscles in health and emphysema. *J Clin Invest*, 1958, **38**: 494-499.
- 3) Campbell EJM, Westlake EK, Cherniack RM, et al.: Simple methods of estimating oxygen consumption and efficiency of the muscles of breathing. *J Appl Physiol*, 1957, **11**: 303-308.
- 4) 田作 豊, 黒澤 一, 松本香好美・他: 死腔負荷を用いた呼吸筋酸素消費量の評価. *呼吸器科*, 2007, **11**(3): 285-290.
- 5) Takisima T, Shindoh C, Kikuchi Y, et al.: Aging effect on oxygen consumption of respiratory muscles in humans. *J Appl Physiol*, 1990, **69**: 14-20.
- 6) Sindoh C, Hida W, Kikuchi Y, et al.: Oxygen consumption of respiratory muscles in patients with COPD. *Chest*, 1994, **107**: 790-797.
- 7) Muller WF: A physiologic evaluation of the effects of diaphragmatic breathing training in patients with chronic pulmonary emphysema. *Am J Med*, 1954, **17**: 471-477.
- 8) Taguchi O, Shindoh Y, Katayose D, et al.: Effects of breathing patterns on oxygen consumption of respiratory muscles. *Bull Coll Med Sci Tohoku Univ*, 2001, **10**: 13-22.
- 9) 上門亜矢子, 山根主信, 江口瑠美・他: 健常人において死腔負荷試験から呼吸筋酸素消費量を予測する方法の検討. *保健学研究*, 2009, **21**(2): 29-33.
- 10) Senju H, Yokoyama S, Sukisaki T, et al.: Assessment of the pattern of breathing using scalene palpation. *Physiother Theory Pract*, 2002, **18**(2): 95-104.