

## ●症 例

## 人工呼吸器回路を用いた100%酸素吸入法による肺動静脈奇形のシャント率測定法

瓜生 和靖 福田 彩乃 内海 太裕  
 粥川 貴文 坪内 和哉 原田 大志

要旨：症例は15歳，女性．健康診断の胸部単純X線検査で左下肺野の結節影を指摘され，精査にて肺動静脈奇形の診断となった．肺動静脈奇形のシャント率測定には100%酸素吸入法や肺血流シンチグラフィによる方法があるが，100%酸素吸入法の具体的方法を記載した文献はほとんど見受けられない．今回我々は人工呼吸器閉鎖回路を用いて100%酸素吸入法でのシャント率を測定した．その方法は，重症度や治療効果を定量的に評価するうえで簡便かつ有用である可能性が示唆された．

キーワード：肺動静脈奇形，シャント率，100%酸素吸入法，肺血流シンチグラフィ，人工呼吸器回路

Pulmonary arteriovenous malformation (PAVM), Shunt ratio, 100% oxygen inhalation method, Lung perfusion scintigraphy, Ventilator circuit

## 緒 言

肺動静脈奇形は毛細血管を介さず肺動脈と肺静脈が吻合した病態であるが，その重症度や治療効果の指標の一つとしてシャント率がある．肺動静脈奇形のシャント率測定には100%酸素吸入法や肺血流シンチグラフィによる方法があるが，100%酸素吸入法の具体的方法を記載した文献はほとんどない．今回，肺動静脈奇形の1症例に対して人工呼吸器による閉鎖回路を用いて100%酸素吸入法を施行した．その具体的方法を提示し，考察を交えて報告する．

## 症 例

患者：15歳，女性．

主訴：なし．

現病歴：20XX年6月の健康診断の胸部単純X線検査で左下肺野の結節影を指摘され，同年7月に当院を受診した．胸部造影CTで左肺下葉に血管の集簇と結節を認め，肺動静脈奇形の疑いで精査加療目的に当科入院となった．

既往歴：特記事項なし．

家族歴：特記事項なし．

生活歴：喫煙歴なし．

初診時現症：身長161cm，体重52.4kg．体温36.5℃，血圧101/65mmHg，脈拍58回/min，呼吸数20回/min，SpO<sub>2</sub> 94%（室内気）．眼瞼結膜貧血なし，眼球結膜黄疸なし，心音・呼吸音異常なし，ばち指なし，皮膚病変なし．

検査所見（Table 1）：Hb濃度上昇を認め，動脈血液ガス分析（室内気）では軽度PaO<sub>2</sub>低下がみられた．肺機能検査は正常範囲であった．6分間歩行試験は総歩行距離395m，SpO<sub>2</sub>最低値92%であった．

初診時胸部画像所見（Fig. 1）：胸部単純X線写真で左下肺野に結節影を認め，造影CTでは左肺下葉に明瞭に造影される結節を認めた．1本の流入動脈（左肺動脈A<sup>9</sup>，最大径4mm）と3本の流出静脈（最大径4～5mm）を確認した．その他，脳血管や腹部臓器に異常所見はなかった．

肺血管造影，肺血流シンチグラフィ（Fig. 2）：肺血管造影で左肺下葉に1本の流入動脈および3本の流出静脈を認め，肺動静脈奇形と診断した．肺血流シンチグラフィではwhole body scanning methodで求めたシャント率は12.1%であった．

100%酸素吸入法：濃度100%の酸素投与下で20分間の安静時呼吸をした後に動脈血液ガス分析を行った．その結果から求めたシャント率は13.4%であった<sup>1)2)</sup>．

臨床経過：100%酸素吸入法は次のように施行した．呼吸機能検査用のノーズクリップで患者の鼻を閉じ，人工呼吸器のフレキシブルチューブ先端を患者にくわえてもらい，簡易的な閉鎖回路を作る（Fig. 3）．人工呼吸器の設定はCPAP（continuous positive airway pressure）+PS（pressure support）での自発換気モードとし，PEEP

連絡先：瓜生 和靖

〒806-8501 福岡県北九州市八幡西区岸の浦1-8-1

独立行政法人地域医療機能推進機構九州病院呼吸器内科

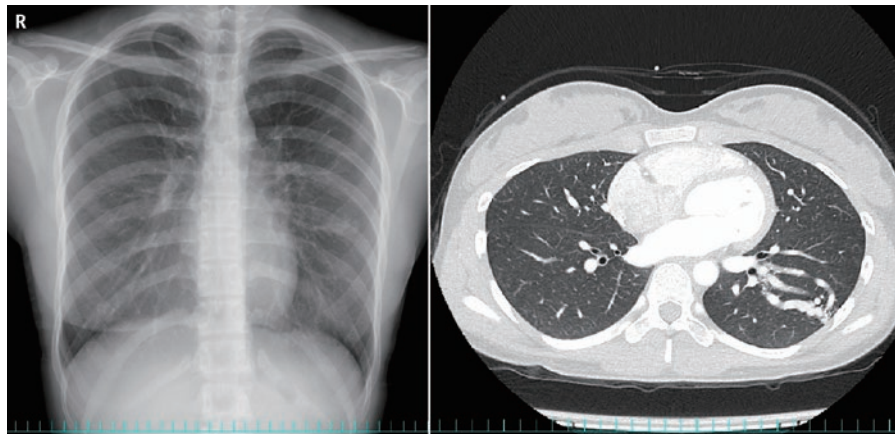
(E-mail: kuryu830@gmail.com)

(Received 24 Mar 2019/Accepted 24 Jul 2019)

**Table 1** Laboratory data, shunt ratio, resulting of 6-minute walk test

Hematology		Pulmonary function test	
WBC	6,500/μL	%VC	102.8%
RBC	510×10 <sup>4</sup> /μL	FVC	3.07L
Hb	15.4 g/dL	FEV <sub>1</sub>	2.73L
Ht	45.8%	FEV <sub>1</sub> /FVC	88.9%
Plt	22.5×10 <sup>4</sup> /μL	%DLco	101.6%
Pre TAE		Post TAE	
Blood gas analysis (room air)		Blood gas analysis (room air)	
pH	7.410	pH	7.426
PaCO <sub>2</sub>	41.0 Torr	PaCO <sub>2</sub>	40.9 Torr
PaO <sub>2</sub>	71.3 Torr	PaO <sub>2</sub>	94.4 Torr
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25.5 mmol/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.4 mmol/L
Blood gas analysis (100% O <sub>2</sub> )		Blood gas analysis (100% O <sub>2</sub> )	
pH	7.442	pH	7.420
PaCO <sub>2</sub>	37.6 Torr	PaCO <sub>2</sub>	38.6 Torr
PaO <sub>2</sub>	412.0 Torr	PaO <sub>2</sub>	561.0 Torr
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.8 mmol/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.6 mmol/L
6-minute walk test		6-minute walk test	
6-min walk distance	395 m	6-min walk distance	520 m
SpO <sub>2</sub> at rest	94%	SpO <sub>2</sub> at rest	97%
SpO <sub>2</sub> minimum	92%	SpO <sub>2</sub> minimum	96%
Shunt ratio (100% O <sub>2</sub> )	13.4%	Shunt ratio (100% O <sub>2</sub> )	6.1%
Shunt ratio (scintigraphy)	12.1%		

TAE : transcatheter arterial embolization.



**Fig. 1** Chest X-ray and contrast-enhanced CT showed a nodule with several vessels in the left-sided lower lobe of the lung.

(positive end expiratory pressure) 0cmH<sub>2</sub>O, PS 0cmH<sub>2</sub>O, FiO<sub>2</sub> 1.0に設定し, 20分以上安静時呼吸を行う。

シャント率 ( $\dot{Q}_s/\dot{Q}_t$ ) は (1) で定義され, 100%酸素吸入法でのシャント率 ( $\dot{Q}_s/\dot{Q}_t$ ) の導き方を下記に示す。

$$\dot{Q}_s/\dot{Q}_t = (Cc'O_2 - CaO_2)/(Cc'O_2 - C\bar{v}O_2) \quad \dots (1)$$

( $\dot{Q}_s$ : シャントした心拍出量,  $\dot{Q}_t$ : 総心拍出量,  $Cc'O_2$ : 肺毛細血管酸素含有量,  $CaO_2$ : 動脈血酸素含有量,  $C\bar{v}O_2$ :

静脈血酸素含有量)

ここで, 酸素の溶解度は酸素分圧1mmHgあたり0.003vol%であり, 100%酸素投与下 (FiO<sub>2</sub> 1.0) では  $Pc'O_2 = PAO_2$  ( $Pc'O_2$ : 肺毛細血管酸素分圧,  $PAO_2$ : 肺泡気酸素分圧) であるため,

$$\begin{aligned} Cc'O_2 - CaO_2 &= (Pc'O_2 - PaO_2) \times 0.003 \\ &= (PAO_2 - PaO_2) \times 0.003 \quad \dots (2) \end{aligned}$$

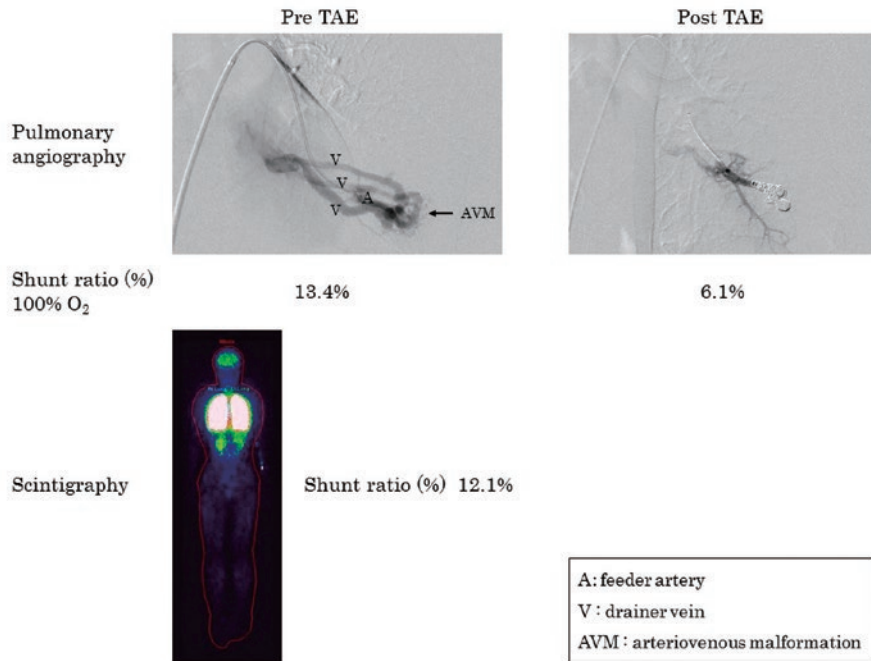


Fig. 2 Pulmonary angiography, scintigraphy, and comparison of shunt ratio by 100% oxygen inhalation method before and after transcatheter arterial embolization (TAE).

心拍出量を含む循環動態が安定し、動静脈血酸素含有量較差 ( $CaO_2 - C\bar{v}O_2$ ) が5 vol%と仮定できると、(1), (2) より、

$$\dot{Q}_s / \dot{Q}_t = (P_{AO_2} - PaO_2) \times 0.003 / \{ (P_{AO_2} - PaO_2) \times 0.003 + 5 \} \quad \dots (3)$$

二酸化炭素は拡散能が高く  $P_ACO_2 = PaCO_2$  ( $P_ACO_2$ : 肺胞気二酸化炭素分圧) であるから、 $FiO_2$  1.0 のもとは  $P_{AO_2} = (\text{大気圧} - \text{水蒸気圧}) - PaCO_2$

$$= (\text{大気圧} - \text{水蒸気圧}) - PaCO_2 \quad \dots (4)$$

当月の平均の大気圧が755 mmHg、体温37°Cでの水蒸気圧が47 mmHgであり、100%酸素投与下での動脈血液ガス分析より  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$  を求めることで (3), (4) よりシャント率 ( $\dot{Q}_s / \dot{Q}_t$ ) が導かれる<sup>1)2)</sup> (Table 1).

治療はコイルによる経皮的カテーテル塞栓術を施行し、塞栓術後に肺動静脈瘻は描出されなかった (Fig. 2). 治療前後で100%酸素吸入法でのシャント率、安静時  $PaO_2$ , 6分間歩行試験の結果は改善していた (Table 1). 肺血流シンチグラフィは被曝量を減らすため治療後には行わなかった. カテーテル塞栓術による合併症や再発もなく、現在外来で経過観察中である.

## 考 察

肺動静脈奇形は肺動脈と肺静脈が異常吻合をきたす疾患であり、肺動静脈瘻とも呼ばれる. 多くが無症状であり、健康診断での胸部異常陰影として偶然発見される場



Fig. 3 One hundred percent oxygen inhalation method with ventilator circuit.

合もあれば、時にシャントによる脳梗塞、脳膿瘍、破裂による咯血、血胸などの合併症を起こす場合もある<sup>3)4)</sup>. 以前は流入動脈径が3 mm以上では脳梗塞や脳膿瘍のリスクが高く、治療適応には「3 mm rule」というものがあったが、現在では奇異性塞栓症と流入動脈径の関連は認められず、流入動脈径が3 mm未満の場合でも治療適応とされる<sup>5)6)</sup>.

本例でも自覚症状は乏しかったが、若年の割に安静時の  $PaO_2$  低下や労作時の  $SpO_2$  低下がみられ、シャント率が10%以上であることや今後の合併症予防等を考慮し治療適応と判断した. 治療は低侵襲なコイルによるカテーテル塞栓術が第一選択とされる<sup>6)</sup>.

肺動静脈奇形の重症度や治療効果の指標の一つにシャ



ント率があり、その測定法には肺血流シンチグラフィによるものと100%酸素吸入法によるものがある<sup>7)</sup>。両者の方法で肺動静脈奇形の症例におけるシャント率をそれぞれ測定した場合、肺血流シンチグラフィによる方法がより正確で有用であった<sup>8)</sup>。ただし、シンチグラフィは施行できない施設もあり、被曝の影響もある。一方、100%酸素吸入法は100%濃度の酸素投与下で20分以上安静時呼吸を行い、採取した動脈血液ガス分析の結果からFickの原理で導く方法である<sup>1)2)</sup>。100%濃度の酸素吸入にはダグラスバッグを用いる方法が報告されているが<sup>9)</sup>、ダグラスバッグは通常用いることが少ないため我々の施設では保有しておらず、近隣の病院でも同様の状況であった。ダグラスバッグは一般の市中病院では標準的に保有しておらず、臨床現場では肺血流シンチグラフィのみで評価する場合や100%酸素吸入法を併用する場合でも、酸素マスクでの高濃度酸素投与や非侵襲的陽圧換気療法などを用いて各施設の基準や方法で行っていることが推測される。しかし、我々が文献を検索した範囲では、それらの方法について具体的に記載された報告は見当たらなかった。また、通常の高濃度酸素投与や非侵襲的陽圧換気療法などの方法は閉鎖回路ではなく、酸素の漏れや呼気の混ざり等の影響が無視できず純粋な100%濃度の酸素投与は難しい。今回我々は人工呼吸器による閉鎖回路を用いて簡便な100%酸素吸入法を行い、シャント率を測定した。本法では、簡易的な閉鎖回路を作ることによって吸気と呼気が混ざることなく理想的な100%濃度の酸素投与が可能となる (Fig. 3)。本例での100%酸素吸入法で得られたシャント率13.4%は、肺血流シンチグラフィで得られたシャント率12.1%と近い値であった (Table 1)。また、経皮的カテーテル塞栓術治療後の100%酸素吸入法によるシャント率は6.1%へ低下し、この結果は治療前後での酸素化の改善等とも矛盾ないものであった (Table 1)。ただし、肺動静脈奇形などのシャント疾患では坐位でシャント血流が増加し、 $\text{PaO}_2$ が低下する (orthodeoxia) ため、測定体位によりシャント率に影響が生じる。今回の100%酸素吸入法は坐位、肺血流シンチグラフィは臥位で施行したが、100%酸素吸入法を臥位で施行していればシャント率はより低値であったことが予想される。本法は今回の症例ではシンチグラフィとの比較が一度しか

できておらず、体位変化を検出できるかどうかについても未検討である。しかし、多くの施設が有する人工呼吸器を用いた本法は、被曝がなく簡便に行えることが利点である。今後はさらに症例を集積し検討することで、本法がシンチグラフィの代替となる可能性がある。本報告が今後の肺動静脈奇形を含むシャント疾患でのシャント率測定の際の一助となれば幸いである。

著者のCOI (conflicts of interest) 開示：本論文発表内容に関して申告なし。

## 引用文献

- 1) Chiang ST. A nomogram for venous shunt ( $\dot{Q}_s/\dot{Q}_t$ ) calculation. *Thorax* 1968; 23: 563-5.
- 2) West JB. Ventilation-perfusion relationships. In: West John B, et al, ed. *West's Respiratory Physiology: The Essentials*. 10th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer. 2016; 63-86.
- 3) Gossage JR, et al. Pulmonary arteriovenous malformations. A state of the art review. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 643-61.
- 4) 巽 浩一郎. 肺動静脈瘻. *呼吸* 2008 ; 27 : 169-72.
- 5) Shovlin CL, et al. Primary determinants of ischaemic stroke/brain abscess risks are independent of severity of pulmonary arteriovenous malformations in hereditary haemorrhagic telangiectasia. *Thorax* 2008; 63: 259-66.
- 6) Shovlin CL, et al. British Thoracic Society clinical statement on pulmonary arteriovenous malformations. *Thorax* 2017; 72: 1154-63.
- 7) 森本耕三, 他. 肺動静脈瘻の1例. *日呼吸会誌* 2007 ; 45 : 202-5.
- 8) Genovesi MG, et al. An intravenous radionuclide method to evaluate hypoxemia caused by abnormal alveolar vessels. *Am Rev Respir Dis* 1976; 114: 59-65.
- 9) 佐藤圭一, 他. 肺血管が1次性に冒されて生じる肺高血圧症における酸素吸入の呼吸・循環動態への影響. *日呼吸会誌* 1999 ; 37 : 449-57.

**Abstract****Calculation of shunt ratio of pulmonary arteriovenous malformation  
by the 100% oxygen inhalation method with ventilator circuit**

Kazuyasu Uryu, Ayano Fukuda, Takahiro Utsumi,  
Takafumi Kayukawa, Kazuya Tsubouchi and Taishi Harada

Department of Respiratory Medicine, Japan Community Health Care Organization Kyushu Hospital

A 15-year-old woman presented with an abnormal shadow of the left-sided lower lung field on chest X-ray. She was diagnosed with pulmonary arteriovenous malformation (PAVM) and treated with transcatheter arterial embolization (TAE). There are few reports describing a detailed method for using 100% oxygen inhalation to calculate the shunt ratio of PAVM. Here we report a 100% oxygen inhalation method with ventilator circuit to calculate the shunt ratio. It is easy to perform and may be a useful way to evaluate the degree of severity and therapeutic effects of PAVM.