原 著

余剰麻酔ガスによる汚染とその防止 対策に関する研究

——IV 人工心肺装置使用時の汚染状況とその対策について——

釘宮 豊城* 片伊木 毅* 歌代 一朗*
高橋 泰子* 小林 寛伊* 都築 正和*
稲田 豊*²

A Study on Pollution by Waste Anesthetic Gases and its Control
—Measurements Done in Surgical Center, University of Tokyo Hospital—
IV. Extracorporeal Circulation for Open Heart Surgery and Pollution.

Toyoki KUGIMIYA, Tsuyoshi KATAIGI,*
Ichiro UTASHIRO,* Yasuko TAKAHASHI,*
Hiroyoshi KOBAYASHI,* Masakazu TSUZUKI*
and Yutaka INADA*²*

** Surgical Center, Faculty of Medicine,
University of Tokyo*

**² Department of Anesthesiology Faculty
of Medicine, University of Tokyo*

Abstract

We studied the degree of pollution in the operating room by nitrous oxide gas used in anesthesia when the extracorporeal circulation (ECC) for open heart surgeries was employed. Measurement of the gas was performed by placing the sampling inlet at 20 cm from the gas exit of artificial lung of the ECC.

Levels over 2000ppm of the nitrous oxide gas were detected at the start of the ECC, and 300 to 500ppm observed during the course. The measured values were influenced mainly by the amount of gas flow to artificial lung, perfusion flow, and the time elapsed between the cessation of N₂O administration and the beginning of ECC.

We concluded that the pollution we detected when ECC was in use could not be ignored. We recommend installation of anesthetic gas scavenging system to all extracorporeal circulation apparatus.

* 東京大学医学部附属病院中央手術部

*² 東京大学医学部麻酔科
(原稿受付：昭和57年4月12日)

1. は じ め に

手術室における余剰麻酔ガスによる空気汚染については1970年前後から発表されている。当施設においても中央手術部と麻酔科が協力して1972年頃より研究が開始された。

当施設での汚染対策の基幹をなすものは、Pollution Control System[®] (大和酸器社製) である。装置の性能効果について十分な検討を行い満足すべき結果を得た後¹⁾、当施設の全麻酔器および手術室に装置し、その結果手術室内のみならず手術部全体における汚染は NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) の推奨するレベルに低下させることができた²⁾。

余剰麻酔ガスによる汚染源は主として麻酔器や人工呼吸器(麻酔中に使用している)であることは明白であるが、先に報告したように麻酔後の患者である場合もあり、特に回復室では注意を要する³⁾。

さらに特殊な発生源として人工心肺装置が挙げられる。この装置では人工肺部分で体内より導出された血液を酸素加し炭酸ガスを除去しているが、この際同時に血中に溶け込んでいる麻酔ガスも排出されることになる。Total Perfusion 時には患者の肺でのガス交換は無く、従って肺内で麻酔ガスが血中へ移行することは無いが、人工肺より酸素投与とともにハロセン等の吸入麻酔薬を加えることもある。Partial perfusion 時には患者の肺も換気されており、この時麻酔ガスが投与されていれば肺以外に人工肺からも麻酔ガスが排出されることになる。いずれにしても、人工心肺開始以前に投与された吸入麻酔薬で、血中に溶け込んでいた部分は人工肺の灌流開始とともに人工肺より排出されることになる。すなわち静脈麻酔薬と酸素のみの麻酔以外では人工肺からの流出気中に余剰麻酔ガスが含まれていることとなる。これに対して排除装置を使って処理しなければ、手術室内汚染につながる危険性は容易に予測される。

「麻酔」(昭和56年3月号)⁴⁾に麻酔ガス排除装置を設置している病院に対するアンケート調査の結果が発表されている。その中に、「ベン

チレータや人工心肺への取り付け」という項目がある。回答は、両者取り付け7/52 (13.5%)、両者取り付けず27/52 (51.9%)、ベンチレータのみ取り付け 18/52 (34.6%) であった。つまり、排除ガス装置を設備してある施設においても、人工心肺への取り付けは13.5%でしか実行されていない。

このように人工心肺への排除装置取り付けに対する関心が薄いのは、人工心肺装置に起因する汚染についてのデータが発表されていないことも一因であると考え、われわれは今回、人工心肺よりの笑気汚染と、その程度について測定し、またそれはどのような因子によって左右されるのかを調べ若干の知見を得たので報告する。

2. 方 法

人工肺装置の排気孔より約 20cm 真下の位置に Miran 103型 赤外線吸光分析器のサンプル吸入口を置き (図7)、排気中の笑気ガス濃度を体外循環実施中継時測定し記録用紙に記録した。

排気中笑気ガス濃度を左右する因子として、患者の年齢、体重、人工心肺を開始するまでの笑気投与時間および濃度、開始前どのくらいで笑気投与を中止したか、また人工心肺実施中の患者の体温、灌流量(人工肺を通る血液量)、酸素流量などに注目し、それらの諸因子に注意しながら検討を加えた。

3. 結 果

体外循環実施中の人工肺よりの排気中笑気ガス濃度の程度およびその変化の様子は症例により異なるが、最初に予想された諸因子によりいくつかの基本的なパターンがあることがわかった。

(1) 第1の型は、図1に示されたごとき変化をするもので、基本的にはこの型が最も多い。

すなわち開始直後より10分間余りは測定限界の 2,000ppm を超える値を示し、その後徐々に低下する。この症例では最初の45分間余りは灌流量、酸素流量とともに一定であり、前述の傾向が顕著である。後半になり再び上昇傾向を示すが、この時は灌流量と酸素流量もやや増加し、

図1 症例：53歳男性，62kg，手術：大動脈—冠動脈バイパスグラフト
 麻酔：人工心肺開始直前まで笑気—酸素毎分 3l/3l で70分間投与．心肺
 時間：79分．Time scale は太目の縦線の1間隔が3分を示す．
 (気泡型人工肺 Spiraflo BOS-10)

図2 症例：58歳男性，54kg，手術：大動脈—冠動脈バイパスグラフト．
 麻酔：人工心肺開始45分前に笑気投与を中止．それまでは40分間，笑気—
 酸素毎分 3l/3l で投与．心肺時間：86分．Time scale は図1と同じ．
 (気泡型人工肺 Spiraflo BOS-10)

さらに体温も上昇してきている．体外循環の停止とともに笑気濃度は開始以前の値を示し，麻酔器や人工呼吸器からの手術室内汚染はほとんど消失する．麻酔記録をみると，体外循環開始直前まで笑気が毎分 3l 投与されている．

(2) 第2の型(図2)は体外循環の過程は(1)とほぼ同様であるが，測定笑気の濃度は，500 ppm前後と低目であり，特に体外循環開始時にこの傾向が著しい．麻酔記録によると，体外循環に入る以前に笑気投与が中止されている．こ

の症例では45分前であった．

症例によりこの時間は異なるが，投与中止から体外循環開始までが長ければ長いほど，排気中に検出される笑気濃度は低い傾向にあった．

(3) (2)とほぼ同様の経過を示す症例であるが(図3)，この症例では笑気投与は体外循環開始15分前で中止されている．年齢が5歳で体重20kgの小児であるために，笑気濃度は前の例とほぼ同じ 500ppm 前後であった．

(4) 第3の型であり，肺からの笑気投与が行

(4) 医器学 Vol. 52, No. 12 (1982)

図3 症例：5歳男子，19.5kg，手術：心室中隔欠損閉鎖。

麻酔：人工心肺開始15分前に笑気投与を中止。それまでは85分間，笑気—酸素毎分 3l/3l で投与。心肺時間：52分，Time scale は図1と同じ。
 (気泡型人工肺 SpiraFlo BOS-5)

図4 症例：14歳男子，38kg，手術：大動脈—肺動脈短絡術。

麻酔：麻酔導入後，笑気—酸素毎分 2l/2l の投与を行い，人工心肺を開始してからも，人工心肺が partial perfusion で行われたため，同じ量の麻酔ガス投与が続けられた。心肺時間：54分，Time scale は図1と同じ。(気泡型人工肺 SpiraFlo BOS-5)

われた症例でみられるものである。体外循環は partial perfusion が行われている。図4の症例

は全経過中 partial perfusion が施行された例で，笑気毎分 2l で肺が換気されており，経過中

図5 症例：12歳女子，54kg. 手術：心房中隔欠損閉鎖.

麻酔：人工心肺開始直前まで80分間，笑気—酸素毎分 2 l/2 l で投与．人工心肺の終り近く，partial perfusion になった時点で笑気—酸素毎分 3 l/3 l で投与を開始．心肺時間：63分．Time scale は図1と同じ．
(気泡型人工肺 SpiraFlo BOS-10)

図6 症例：55歳男性，58kg. 手術：大動脈—冠動脈バイパスグラフト（二枝）.

麻酔：人工心肺開始20分前に笑気投与中止．それまで80分間は笑気—酸素毎分 3 l/3 l で投与，心肺時間：146分．Time scale は図1と同じ．
(気泡型人工肺 SpiraFlo BOS-10)

1,000ppm 程度の笑気が排気されていることが示されている．この程度の濃度で押さえられたのは，灌流量，酸素流量ともに partial perfusion のために低流量であったためと考えられる．

(5) この型は通常の灌流量，酸素流量下に笑気を投与すると 2,000ppm を超す笑気濃度となる（図5）．前半はやや高目の値を示しているが第1の型と基本的には同様である．最後の10分間，partial perfusion の時に笑気を毎分

3 l 流し肺を換気した結果このような高濃度の笑気が検出されたものと思われる．

(6) 図6は酸素流量が排出気中笑気濃度に大きな影響を与える事実をよく示した症例である．2,000ppm を超える笑気濃度が急激に 500ppm 以下になった時点で，酸素流量は 3～4 l/分から 1 l/分になっている．後半になって酸素流量が増加すると笑気濃度は再び上昇傾向を示している．

4. 考 察

体外循環装置の人工肺より流出する笑気の濃度は当初予想されたように、種々の因子に影響されることが判明した。その中で特に大きな影響を与える因子は、人工肺ガス流量、人工心肺灌流量、人工心肺開始前に笑気を中止した時点から人工心肺開始までの時間の3種である。

またこれらの結果から、体外循環装置からの汚染は決して少なくないことが判明した。測定用サンプル採取口は人工心肺装置の排気口のごく近く(20cm)であるが、この点は人工心肺装置担当者からそれほど離れてはいないことから、少なくとも人工心肺担当者への汚染の影響は無視できないものがある。特に体外循環開始直後より15~20分間は2,000ppmを超える笑気濃度が測定されており、また少ない例でも数100ppmを示し、体外循環維持時でも300~500ppm前後の値をとる。これらの事実から余剰麻酔ガス排除装置を装着する必要性は大きい。

現在まで体外循環装置に対する余剰麻酔ガス排除装置装着という問題がそれほど重要視されず、その結果として前記のようなアンケート結果が出た理由として次のことが考えられる。(1)麻酔器、人工呼吸器からの汚染に比べてずっと低濃度であろうと考えられたこと、(2)体外循環時間は麻酔時間全体に比べて短時間であるのであまり問題とはならないであろうと考えられたこと、(3)余剰麻酔ガス汚染による危険性が一番高いと考えられた麻酔医のいる場所から大分離れていること、等である。

このような考えを修正しなければならないことはわれわれの得た結果から明らかである。確かに麻酔器や人工呼吸器からの汚染度よりは低値であるが、しかし無視できるほど低い値ではないことは、2,000ppmを超える値が測定されていることから明らかである。人工心肺使用時間は麻酔時間に比べ短時間ではあるが、1~2時間の間さらされていることも多い。その結果手術室全体が低濃度で汚染された状態になり、長時間このような状態が続けば体外循環担当者をはじめ、手術室内で働く人びと全員に好ましくない影響が出てくる可能性は十分にある。

図7 人工肺のガス排出口の2例.

左側Aは管状になっており、余剰麻酔ガス排除装置装着が容易であるが、右側Bは幅約15cmぐらいに広がっており、装置が困難である。図には示していないが最近では設計上直ちに排除装置を取り付けられるようにした製品もある。

排出口の下に Mirau 103型 赤外線吸光分析器のサンプル吸入口が取り付けられている。

A : 気泡型人工肺

Spiraflo BOS-10 (Bentley社)

B : 気泡型人工肺

Shiley S-100A型, (Shiley 社)

以上の結果から人工心肺装置に余剰麻酔ガス排除装置を装着すべきであることは明らかであり、現在実行していない施設においても早急に解決することが望まれる。この際1つの問題として、人工肺の中には図7、Bのようにガス排出口が管状(図7、A)でなく、広い面積を占めているものがあり、この場合は効果的な排除が不可能に近いことが挙げられる。人工心肺メーカーは余剰麻酔ガス排除のことも考慮に入れた形の人工肺を製作すべきである。

5. 結 語

人工心肺装置使用時における手術室内空気の笑気汚染の度合を調査した。人工肺排気口より20cmの位置での測定により、体外循環開始時には2,000ppmを超える値、維持時には300~500ppmの値を得た。これらの値は人工肺ガス流量、人工心肺灌流量、人工心肺開始前どの時点で笑気投与を中止したか等の因子によって左右される。手術室内空気の汚染の程度は無視してよいという範囲内のものではなく、早急に余剰麻酔ガス排除装置を人工肺に装着することが望まれる。

この論文の要旨は第3回日本手術部医学会（大阪）で発表した。

文 献

- 1) 肥後十道ほか：余剰麻酔ガス汚染とその対策に関する研究—東京大学医学部附属病院中央手術部における測定—
I. 余剰麻酔ガス排除装置の検討
医器学 Vol. 51, No. 6 p. 271, (19), 1981
- 2) 釘宮豊城ほか：余剰麻酔ガス汚染とその対策に関する研究—東京大学医学部附属病院中央手術部における測定—

医器学 Vol. 52, No. 12 (1982) (7)

- II. 手術室内以外の手術部区域での汚染（所謂2次汚染）の検討
医器学 Vol. 51, No. 7, p. 305, (5), 1981
- 3) 釘宮豊城ほか：余剰麻酔ガス汚染とその対策に関する研究—東京大学医学部附属病院中央手術部における測定—
III. 回復室における汚染の連続記録による検討.
医器学 Vol. 51, No. 9, p. 409 (17), 1981
- 4) 手術室安全対策委員会：手術室安全対策委員会報告—I. 麻酔ガス排除装置を設置している病院に対するアンケート調査—
麻酔 Vol. 30 No. 3, p. 321, 1981