

中央手術部における余剰麻酔ガス汚染とその対策

(岡山大学医学部附属病院中央手術部)

新 太喜治・清水信義・河上靖登
富田校朗・光岡利人・塚原恒子
折田薫三

Key Words : 手術室, 麻酔ガス汚染.

要 約

われわれは昭和50年11月から、新築された中央手術部を使用するようになったが、余剰麻酔ガス排除装置 (AGSS) が全麻酔器に設置されたのは昭和53年末であり、その間に手術室勤務者の妊娠11例中4例が切迫流産になるという事態を経験した。対照とした病棟勤務者の切迫流産20例中2例であった。AGSSを設置する以前に測定した余剰麻酔ガスの平均的濃度レベルは、標準的麻酔法を行なった場合に手術室内および廊下で笑気80~120ppm, ハロセン1.5~2.5ppmであった。大和酸器製PCS-C2型AGSSを設置して同様の測定を行なったところ、麻酔導入時を除いて笑気25ppm, ハロセン0.5ppm以下の濃度レベルに維持することができた。しかし種々の原因にもとずく麻酔ガス漏出が検出されたので、手術室勤務者の安全健康管理のためには、今後も余剰ガス濃度の連続モニターが必要であると考えられた。

結 言

Vaisman¹⁾が手術室勤務者に自然流産が多いと発表して以来、余剰麻酔ガスによる手術室内の汚染が、麻酔医や看護婦などの健康を害しているという可能性を示唆する報告が続いている²⁾⁻²¹⁾。その中で米国におけるCohen⁴⁾ら、および英国におけるKnill-Jones⁵⁾らの広範な調査結果は有名であり、余剰麻酔ガスによる健康障害の発生頻度は、対照群に較べて有意に高いことが明らかにされた。しかし直接の因果関係が証明されなかったために、麻酔ガス汚染対策は必

ずしも積極的にすすめられるには至らなかった。わが国でも麻酔学会の手術室安全対策委員会が、手術室の麻酔ガス汚染問題についての現況を報告し²³⁾、その対策の必要性を提唱したにもかかわらず、余剰麻酔ガス排除装置 (AGSS: Anesthetic Gas Scavenging System) は、近年になってようやく一部の大病院で設置されるようになったにすぎない。

著者らの中央手術部は昭和50年に近代的なものに改築されたが、空調設備と麻酔ガス排除については十分な検討を加えることができなかった。新しい中央手術部に移転してから、手術室勤務者の妊娠を11例経験したがそのうち4例が切迫流産となり、1例は自然流産に終るという事態が発生した。また、麻酔医および外科医からの肝炎頻発も憂慮される事態であった。これらが契機になって、昭和53年末にようやく全手術室の麻酔器にAGSSが設置された。この機会に手術部内の麻酔ガス汚染の実態と、AGSSの効果についていささか検討を加えることができたのでその結果を報告する。

方 法

岡山大学医学部附属病院の中央手術部は、昭和50年11月、本学総合病棟の完成に伴ない開設されたもので、近代的かつ機能的に設計された手術室を13室保有している。室の配置、設計は図1の如くであり、空調設備は屋上に設けられ、非再循環式強制換気法 (All fresh air system) がとられていて、空気清浄化のため全室にHE-PAフィルターを用いている。空気吹出口は各室の天井に2ヶ所あり、各室1ヶ所の排気窓(50

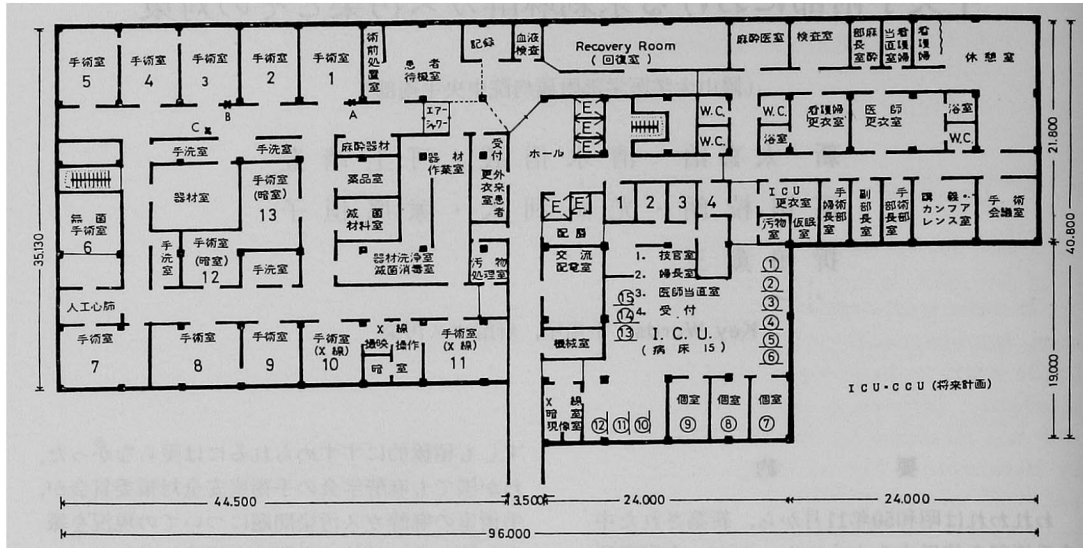
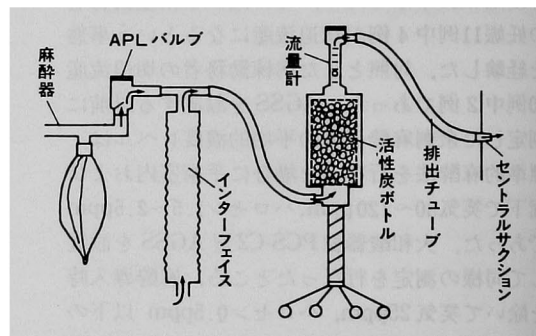


図1. 岡山大学中央手術部

×70cm)を通して廊下に流し、3ヶ所の排気口から吸引して外部に放出するという方式である。1室(Room 6)はプレハブ式のバイオフィールームで、再循環垂直層流方式がとられている。各室の換気量は設計上15回/時間以上であるとされているが、各室の風量、温度にかなりの変動が認められることから、必ずしも規定通りではないようである。手術部の職員は、助教授1名、助手2名、技術員3名、看護婦38名で構成されており、手術数は1日平均17例、1日あたり手術室内に出入りする医師は70名、看護婦33名(いずれも概算)である。大学病院の性格上、一般病院に較べて長時間手術、困難手術、小児手術などの頻度が比較的高いという特徴を有している。

今回われわれの手術部に設置したAGSSは、大和酸器社製PCS-C2型であり、その基本的構成は図2に示す如くである。この装置は国際標準化機構(ISO: International Organization for Standardization)が1978年に示した国際規格案の安全規準を充たすように作られたもので、APLバルブの安全性が高く操作が容易であること、インターフェイスが可撓性で充分な容積を持つこと、2kgの活性炭ボトルを通してハロセンを吸着除去して排出チューブに導くこと、フローメーターにより吸引圧が安全に調整できること、などのすぐれた機能を備えている。余剰ガス排

図2. 余剰麻酔ガス排除装置の構成
(大和酸器製 PCS-C2 型)

出のために専用配管を設け、動力源として圧縮空気が電動ポンプを用いる方式が薦められているが、われわれのところでは既設のセントラルサクションを利用して排出する方式を採用した。その理由は建物が新しく追加の配管工事が困難であったことと、余剰ガス排出口をできるだけ病棟から離れた場所にしたかったためである。

ISOの安全規準によれば、麻酔ガスの濃度レベルは1時間値で笑気25ppm、ハロセン0.5ppm以下にするよう勧告されている。AGSSの設置によってこの規準が充たされるかどうか、また種々の原因によっておこる麻酔ガス汚染の実態を知るためには、低濃度麻酔ガスの連続測定が不可欠である。そのためにわれわれは Wilks

社製 Miran 103型赤外線ガス分析器に日立 056型レコーダーを接続して、図3に示すような連

表1. 手術室勤務者の産科的合併症 (岡大中央手術部)

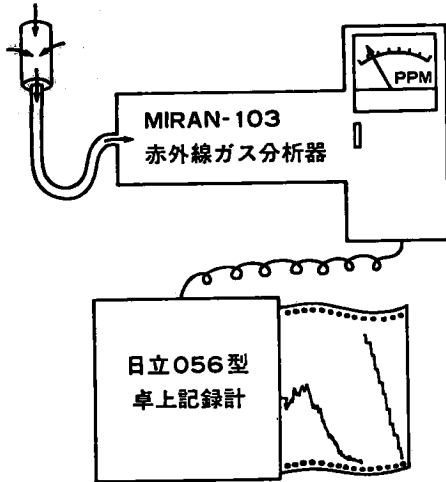


図3. 余剰麻酔ガス濃度モニター装置

続測定記録法を行なった。この測定器は笑気およびハロセンが有する赤外領域での特殊波長のみを通過するフィルターを用いて、その吸光度を計ることにより濃度が求められ、メーター上に ppm で連続的に表示されるようになっている。この精度についてはガスクロマトグラフィー (YANACO G-180型)により測定した値とよく一致することが確かめられた。なお手術室内の風速および温度は、日本科学工業社製 Anemomaster AM-11/11-1111型により測定した。

結 果

すべてを人工的換気に依存する新しい手術室を使用するようになってからの3年間は、余剰麻酔ガスを発生の原点において捕捉するという原則は守られていなかった。すなわち各室内への機械的送風により、すべての麻酔ガスは医療従事者の呼吸する空間において拡散され、各室1ヶ所の排気窓を通して廊下に流し、廊下が排気通路に用いられ天井の排気口から吸引して屋上に放出する方式であった。この期間に経験した手術室勤務者の妊娠が11例あり、当院の産婦人科で検診を受け、分娩までの経過が詳細に記録されている。それらの産科的合併症について調査しまとめたものが表1である。なお同期間

氏名	年齢	経産	分娩日	産科的合併症	新生児 (g)
H.Y.	30	0	51. 2. 21	妊娠中毒症、静脈瘤	♂3225
N.K.	34	1	51. 4. 11	異常なし	♀3200
M.M.	25	0	52. 1. 7	陣痛微弱	♂2730
I.S.	23	0	52. 6. 30	28週切迫早産	♀2705
S.S.	24	0	52. 9. 12	9週自然流産	/
A.Y.	30	0	52.10.21	12週切迫流産	♀3000
S.S.	25	0	53. 9. 1	静脈瘤	♀3480
M.Y.	30	0	54. 1. 1	37週早産	♂2940
O.A.	24	0	54. 2. 28	HBs抗原陽性	♂3010
H.Y.	33	1	54. 3. 10	7週切迫流産、妊娠中毒症	♀2835
M.M.	28	1	54. 3. 20	13週切迫流産、癒着胎盤	♂3120

中に病棟勤務者の妊娠は20例であったので、同様に調査しまとめたものが表2である。一般に

表2. 病棟勤務者の産科的合併症 (岡大看護部)

氏名	年齢	経産	分娩日	産科的合併症	新生児 (g)
N.S.	24	0	52. 4. 1	異常なし	♂3200
K.S.	29	0	52. 4. 30	妊娠中毒症	♀3280
H.Y.	26	0	52. 7. 7	異常なし	♂3085
Y.J.	25	0	52. 8. 29	骨盤位分娩	♂3020
K.H.	32	2	52. 8. 1	37週早産	♀2600
Y.T.	31	2	52. 9. 22	児頭骨盤不均衡、帯切分娩	♂3450
K.Y.	24	0	52.11. 16	8週風疹罹患	♀2980
H.Y.	28	0	52.11. 13	糖尿病	♀2600
H.S.	26	1	52.12. 1	異常なし	♀2850
M.K.	27	1	53. 2. 14	9週切迫流産、癒着胎盤	♀3120
Y.R.	27	1	53. 5. 2	異常なし	♀3220
S.M.	29	1	53. 7. 14	反復帯切分娩、児狼瘡	♂4020
M.T.	28	1	53. 8. 22	静脈瘤	♀2880
K.T.	25	0	53. 9. 9	34週早産、未熟児	♂1970
N.S.	25	1	53. 9. 13	異常なし	♀3310
M.N.	25	0	53. 9. 24	異常なし	♀3330
F.Y.	39	1	53.10. 12	36週早産、児重症奇形死亡	? 1790
M.K.	27	1	53.11. 14	異常なし	♂3550
K.S.	30	1	53.11. 18	骨盤位分娩	♂3220
M.T.	26	0	53.12. 8	6週切迫流産	♀3370

医療従事者では異常妊娠の頻度が高いと言われているが、この調査でも手術室勤務者の産科的合併症は異常に高いことが判明した。特に妊娠初期の切迫流産は手術室勤務者で11例中4例(36%)、病棟勤務者で20例中2例(10%)であった。

そこで前記のような手術室の状態ではどのよ

うな麻酔ガス汚染がおこっているかを明らかにするため Room 1~5 の 5 室を用いて標準的麻酔法（笑気 4 ℓ，酸素 2 ℓ，ハロセン 1%）を行なった場合に，各室の排気窓（図 1 の A，B 点），および廊下排気口（図 1 の C 点）における麻酔ガス濃度の推移がどうなるかを調べた。その結果は図 4 および図 5 に示すようであり，

麻酔器が老朽化していてリークの多い場合にはややゆるやかであった。廊下排気口の濃度レベルもややおくれて最低濃度値に下降した。すなわち，AGSS により麻酔を中断したと同様の効果が得られることが明らかになった。麻酔開始と同時に AGSS を作動させた場合には，図 5 に示すように麻酔回路からのリークがおこりやす

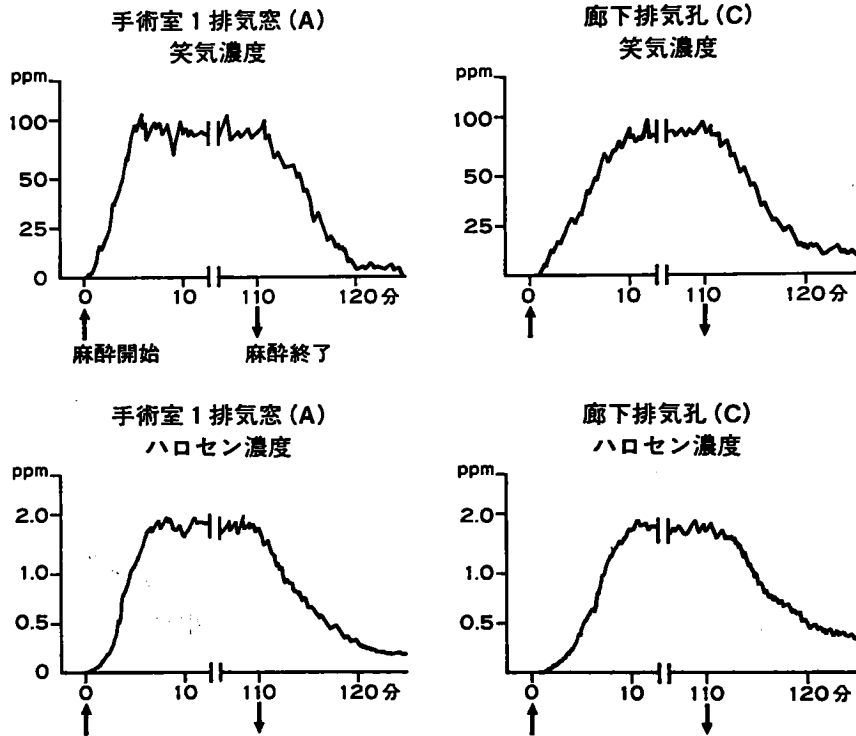


図 4. 標準麻酔法による余剰麻酔ガス濃度

麻酔ガス濃度は室によりかなりの差違が認められるが，麻酔開始後およそ 5~10 分で笑気，ハロセンとも最高濃度に達し，あとは平衡状態を続け，麻酔終了とともに 10~20 分でもとのレベルに戻るということがわかった。平衡状態における麻酔ガス濃度は笑気 80~120 ppm，ハロセン 1.5~2.5 ppm で，廊下排気口でも同様の濃度レベルであった。

次に AGSS の効果をみるため，平衡状態に達してから各室でこれを作動させてみると，麻酔ガス使用を中止したときとほぼ同様の下降状態で最低残留ガス濃度レベルに下ることがわかった。下降のスピードは換気量の少ない手術室，

い麻酔導入時を除いて，ほぼ一定 (25 ppm 以下) の低濃度レベルを保ち得ることも証明された。

麻酔器周辺からのリークは定点麻酔ガス濃度の測定により明らかにすることができた。われわれの測定結果では，老朽化した麻酔器 (13 台中 5 台が耐用年数の 5 年を超過していた) からのリークが多く，その場所はフローメーターノブ，呼吸弁ドーム，キャニスター，Y ピース，マスク周辺などであった。麻酔器から 50 cm 離れた所で計測された最高濃度は，笑気 2000 ppm，ハロセン 77 ppm であった。このようなホットスポットがあっても，換気量が充分であればすぐに拡散されてしまうが，手術室内および廊下の

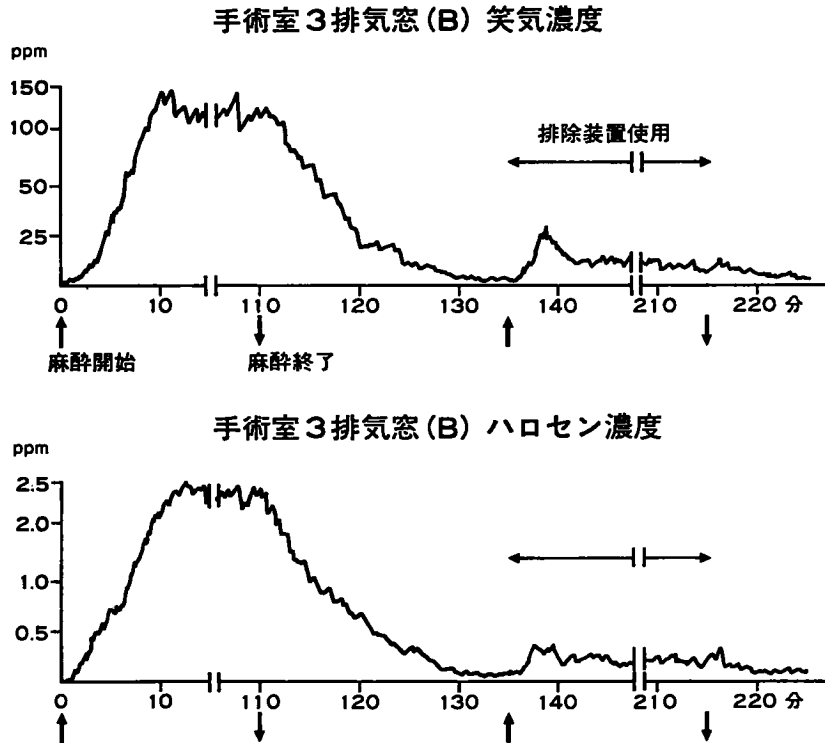


図5. 余剰麻酔ガス排除装置使用の効果

残留ガス濃度レベルは、AGSSの使用にもかかわらず下降がゆるやかであった。

考 案

大学における廃棄物処理の手引²⁵⁾(昭和54年文部省編著)によれば、「廃ガス取扱者に棄れているという意識が少なく、排出場所が取扱者自身の生活環境(呼吸空間)とつながっていることが多いというところに最大の特徴がある。したがって、その処理計画に当たっては、廃出ガスによる環境汚染の防止対策とともに、取扱者の安全(健康)管理についても充分留意する必要がある」と指摘されている。その対策としては「まず第一に取扱者から隔離することであり、この場合、排出ガスの原点における捕捉という原則は特に重要であって、少しでも発生場所に近い所から排気し、有害ガスの拡散する空間と人間の呼吸する空間を分離すること、いわゆるゾーンコントロールが必要である」と述べ、さらに「廃ガスは単に人体から隔離するに

とどまらず、捕捉後に無害化するのなければ環境汚染を防止することにはならない」としている。この手引に従えば、最善の方法は麻酔ガスを原点において捕捉し、完全に無害なものに分解して排出するような方策を講じることであるが、現状においては困難であると言わざるをえない。次善の策としてはできるだけ完全なゾーンコントロールを徹底させることであろう。残念ながらわれわれの手術部において、この配慮がなされたのは最近になってからのことである。

すでに多くの文献が低濃度麻酔ガスに長時間さらされることによっておこる健康障害、特に自然流産と肝臓障害の増加について報告している⁹⁾¹¹⁾。しかし直接の因果関係を実証することができないため、欧米では多数例のアンケート調査から疫学的に証明しようとする方法が試みられてきた。麻酔ガスに常時さらされている医療従事者の自然流産と奇形児出産の発生頻度について、対照を設けて調査した欧米の報告をまとめてみると表3と表4に示す如くである。こ

表3. 麻酔ガス吸入女性の流産発生頻度

報告者	発表年	職種	麻酔ガス(+) 流産数/妊婦数	麻酔ガス(-) 流産数/妊婦数
Cohen (米)	1971	看護婦	11/36 (28%)	3/34 (9%)
"	"	医師	14/37 (38%)	6/58 (10%)
Knill-Jones (英)	1972	医師	133/737 (18%)	323/2150(15%)
Rosenberg (欧)	1973	看護婦	51/257 (20%)	17/150 (11%)
Cohen (米)	1974	看護婦	310/1826 (17%)	292/1948(15%)
"	"	医師	80/468 (17%)	28/308 (9%)
Knill-Jones (英)	1975	医師	84/523 (16%)	802/7296(11%)

表4. 麻酔ガス吸入女性の奇形児出産頻度

報告者	発表年	職種	麻酔ガス(+) 奇形児数/出産数	麻酔ガス(-) 奇形児数/出産数
Knill-Jones (英)	1972	医師	27/893 (3.0%)	59/1835 (3.2%)
Cohen (米)	1974	看護婦	142/1480 (9.6%)	124/1629 (7.6%)
"	"	医師	23/384 (5.9%)	8/276 (2.9%)
Knill-Jones (英)	1975	医師	7/438 (1.6%)	71/6442 (1.1%)

の結果をみると麻酔ガスを吸入していた人からの自然流産は、対照群に較べていづれも高頻度であり、麻酔ガスの吸入によって流産の危険性は1.3~3.0倍高くなるのが推定される。われわれの調査でも手術室勤務者の切迫流産は36%におこり、病棟勤務者の10%に較べて明らかに多いという結果であった。しかし実際に流産してしまったのは1例のみであり、あとは入院加療により症状軽快し、すべて正常児を娩出している。奇形児出産は手術室勤務者に1例もなく、対照群には2例認められた。欧米の集計(表4)をみても、奇形児の頻度については一致した成績が得られていない。これらのことから麻酔ガスを吸入するような環境で働いていると、流産しやすい状況になることは確かなことのようなのである。われわれの経験症例数はあまりにも少なく、流産の原因はあまりにも多様であるから、これのみで直接の因果関係ありと断言することはできない。しかしただ傍観しているだけではすまされないことのように思われる。一般外科医を含めて手術室使用者の肝炎発生頻度が高いことから、ウィルス感染以外に麻酔ガスとの因果関係が推定されている。今後充分な注意と観察が必要であろう。

手術室内の麻酔ガス汚染に関与する因子もきわめて多種多様であるために、余剰麻酔ガス濃度の実測値は報告者によりかなりのばらつきが

みられる。麻酔ガス漏出点の近傍には、ホットスポットと呼ばれる高濃度な場所が認められるけれども、手術室内の平均的濃度レベルは、一定時間内に漏出する麻酔ガスの量と、これを拡散希釈する空気量によって決定される。漏出する麻酔ガス量は、麻酔の方法、麻酔器の種類、麻酔ガス濃度、流量などにより変動するし、空気量の方は空調の様式、換気量、手術室の構造、ドアの開閉、人の動きなどにより影響される。今までの報告をみても、All fresh air systemの空調を備えている近代的手術室で、標準的麻酔法を行なっているときの余剰麻酔ガス濃度は、手術室の中央で笑気100~1000ppm(平均170ppm)、ハロセン10~50ppm(平均15ppm)程度であると言われている。われわれは各室からの排気窓で連続測定し、平衡状態に達したときの平均的濃度は笑気100ppm、ハロセン2ppmでやや低かったが、この値でも安全許容濃度として勧告されている笑気25ppm、ハロセン0.5ppmに較べると約4倍の濃度である。充分な換気量があると言われている当院においても、麻酔中は手術部内のはほぼ全域がこの程度の麻酔ガス汚染を蒙っていたことになり、医療従事者の多くは勤務時間中たえずこれらの低濃度麻酔ガスを吸入していたことになる。

現在用いられている余剰麻酔ガス排除装置(A-GSS)には数種類のものが作られ市販されているが、今後さらに工夫が加えられ性能のよいものに改良されていくものと思われる。この基本的構成はガス収集(Gas collecting)、導出チューブ(Transfer tubing)、インターフェイス(Interface)、排気管(Disposal tubing)、ガス排出(Gas disposal)の5段階から成り立っている。ISOの委員会では毎年会合して、それぞれの項目について安全規準を検討し、国際規格案を発表している。これを参照して、それぞれの手術室に適した装置を選定し設置すればよいわけである。われわれは大和酸器製PCS-C2型を選んで全麻酔器に設置し検討したところ、標準的麻酔法に用いた場合には充分効果的であると判定される結果であった。ただし少量の麻酔回路やレスピレータからのリークは避け難いことであり、余剰麻酔ガス濃度を完全に0にすることはできなかった。しかし麻酔施行中の大部分を笑気25ppm、ハロセン0.5ppmの安全規準以下に保つことが

できるようになったことは、手術室勤務者の健康管理上大きな進歩であると言えよう。さらに日常の余剰麻酔ガス濃度レベルを連続モニターすることにより、麻酔ガスの漏出を少なくするよう取扱者の注意を喚起することができるし、また不良設備を改善したり更新するための根拠

にすることができるのではないかと期待している。

余剰麻酔ガス濃度測定について御指導御協力いただいた本学衛生学教室、青山英康教授ならびに小河孝則技官に深謝いたします。

文 献

1. Vaisman, A.I.: Working conditions in surgery and their effect on the health of anesthesiologists. *Eksp. Khi. Anesteziol.* 3, 44-49, 1967.
2. Bruce D.L., Eide, K.A., Linde, H.W. and Eckenhoff, J.E.: Causes of death among anesthesiologists-A 20 year survey. *Anesthesiology* 29, 565-569, 1968.
3. Askrog, V. and Harvald, B.: Teratogenic effect of inhalation anesthetics. *Nord. Med.* 83, 498-504, 1970.
4. Cohen, E.N., Belville, J.W. and Brown, B.W.: Anesthesia, pregnancy, and miscarriage - A study of operating room nurses and anesthetists. *Anesthesiology* 35, 343-347, 1971.
5. Knill-Jones, R.P., Moir, D.D., Rodrigues, L.V. and Spence, A.A.: Anesthetic practice and pregnancy - Controlled survey of women anesthetists in the United Kingdom. *Lancet* 1, 1326-1328, 1972.
6. Corbett, T.H., Cornell, R.G., Lieding, K. and Endres, J.L.: Incidence of cancer among Michigan nurse-anesthetists. *Anesthesiology* 38, 260-263, 1973.
7. Rosenberg, P. and Kirves, A.: Miscarriages among operating theatre staff. *Acta Anaesth. Scand.* (Suppl.) 53, 37-42, 1973.
8. Corbett, T.H., Cornell, R.G., Endres, J.L. and Lieding, K.: Birth defects among children of nurse-anesthetists. *Anesthesiology* 41, 341-344, 1974.
9. Cohen, E.N., Brown, B.W., Bruce, D.L., Cascorbi, H.F., Cordett, W., Jones, T.H. and Whitcher, C.E.: Occupational disease among operating room personnel - A national study. *Anesthesiology* 41, 321-340, 1974.
10. Bruce, D.L., Bach, M.J. and Arbit, J.: Trace anesthetic effects on perceptual, cognitive, and motor skills. *Anesthesiology* 40, 453-458, 1974.
11. Knill-Jones, R.P., Newman, B.J. and Spence, A.A.: Anesthetic practice and pregnancy - Controlled survey of male anesthetists in the United Kingdom. *Lancet* 2, 807-809, 1975.
12. Cohen, E.N., Brown, B.W., Bruce, D.L., Cascorbi, H.F., Corbett, T.H., Jones, T.W. and Whitcher, C.E.: A survey of anesthetic health hazards among dentists. *J. Am. Dent. Assoc.* 90, 1291-1296, 1975.
13. Bruce, D.L. and Bach, M.J.: Psychological studies of human performance as affected by traces of enflurane and nitrous oxide. *Anesthesiology* 42, 194-196, 1975.
14. Goldstein, B.D.: Atmospheric derivatives of anesthetic gases as a possible hazard to operating-room personnel. *Lancet* 2, 235-237, 1976.
15. Seufert, H.J.: A review of occupational health hazards associated with anesthetic waste gases. *Aorn. J.* 24, 744-752, 1976.
16. Piziali, R.L., Whitcher, C., Sher, R. and Moffat, R.J.: Distribution of waste anesthetic gases in the operating room air. *Anesthesiology* 45, 487-494, 1976.
17. Chang, L.W. and Katz, J.: Pathologic effects of chronic halothane inhalation - An overview. *Anesthesiology* 45, 640-653, 1976.

18. Spence, A.A., Cohen, E.N., Bown, B.W. Jr. and Knill-Jones, R.P.: Occupational hazards for operating room-based physicians. Analysis of data from the United States and the United Kingdom. *JAMA (J. Am. Med. Assoc.)* **238**, 955-959, 1977.
19. Geraci, C. L.: Operating room pollution; Governmental perspectives and guidelines. *Anesth. Analg.* **56**, 775-777, 1977.
20. Holmes, C.M.: Pollution in operating theatres. Part I; The problem. *N. Z. Med. J.* **87**, 18-20, 1978.
21. Spence, A.A. and Knill-Jones, R.P.: Is there a health hazard in anesthetic practice? *Br. J. Anaesth.* **50**, 713-719, 1978.
22. 花見千幸, 柳田尚, 山村秀夫: 麻酔科医と手術室における環境について. *麻酔***24**, 1-11, 1975.
23. 山村秀夫, 稲田豊, 池園悦太郎, 佐藤暢, 新井豊久, 柳田尚, 橘直夫 (手術室安全対策委員会): 手術室の麻酔ガス汚染問題についての現況. *麻酔***26**, 369-386, 1977.
24. 野口照義, 青柳光生, 伊藤範行: 余剰麻酔ガス排除試作弁装置の臨床的検討. *医器誌***47**, 613-617, 1977.
25. 文部省編著: 大学における廃棄物処理の手引. 科学新聞社, 東京, 1979.

Contamination of the operating room by waste anesthetic gases

**Takiji ARATA, Nobuyoshi SHIMIZU, Yasuto KAWAKAMI,
Toshio TOMITA, Toshito MITSUOKA, Tsuneko TSUKAHARA
and Kunzo ORITA**

Central Division of Surgery, Okayama University Hospital

A survey was undertaken to evaluate the possible relationship between abnormal pregnancy and exposure to waste anesthetic gases. The results indicate that during the years 1976 — 1979, 36 per cent of pregnant operating room nurses suffered from threatend abortion, compared with 10 per cent in the control group. Our measurement of waste anesthetic gases showed that trace concentrations of 100 ppm of nitrous oxide and 2.0 ppm of halothane were present in the operating room atomosphere. The contamination of operating rooms by anesthetic gases could be reduced to less than 25 ppm of nitrous oxide and 0.5 ppm of halothane respectively through the use of an anesthetic gas scavenging system.