

麻酔用ガス (ether 及び cyclopropane) の 爆発防止に関する基礎的研究

第 5 篇

ether ガス及び cyclopropane の手術室 空气中分布に関する研究

(本論文要旨は昭和31年10月名古屋における第11回日本公衆衛生学会総会並びに昭和32年4月東京における第57回日本外科学会総会において発表した.)

岡山大学医学部衛生学教室 (指導・緒方 益雄教授)
指導 陣内伝之助教授)

坂 下 昇

(昭和32年2月15日受稿)

第1章 緒言並びに文献

ether ガスの手術室空气中分布に関しては、Hirsch & Kappus¹⁾ (1929) により開放点滴法施行時の空气中の ether ガス濃度の測定成績が報告されている。この外に光田²⁾ (1952) は無煙薬製造所の工室の ether ガス濃度を五酸化ヨード法により測定している。

しかしながら、cyclopropane (以下 cyc と略す) の手術室内空气中分布に関する報告は勿論、ether 閉鎖循環式麻酔時の手術室空气中の ether ガス分布に関する報告も、未だ1例もないように思われるので、さきにのべた ether ガス及び cyc の濃度測定法を臨床方面に活用することにより、閉鎖循環式麻酔並びに開放点滴法施行中の手術室空气中の ether ガス並びに cyc 濃度を測定し、今まで推量的であつた麻酔ガス濃度の分布状況を明かにしたので、これをここに報告する。

第2章 実験材料及び実験方法

第1節 測定場所

岡山大学第1外科教室手術室及びその準備室において測定した。

手術室内においては、麻酔器の在所から 2.5 m 離れた範囲内で、床上 1 m までの空気を採取した。ether 開放点滴法実施の準備室においては、患者口辺部及びその附近の空気を採取した。

第2節 測定条件

手術室は 280 m³、準備室は 220 m³ の容積を有し、測定時の室温 23~25°C、湿度 70~80%、気圧 750~765 mmHg、換気1時間 8~10回、在室人員 8~22人であつた。

ether ガスの場合は、閉鎖循環式麻酔並びに開放点滴法施行時の空気を採取し、cyc の場合は、挿管とマスクとによる閉鎖循環式麻酔時の空気を採取して、濃度を測定した。

第3節 被検ガス採取方法

ether ガスの場合は、測定場所において、予め真空にした採気瓶の活栓を開くことにより被検ガスを採取する方法と、ゴム製二連球を使用する方法とを用いた。

cyc の場合は、気密な磨合せのピストンを有するポンプを用いて採取した。

第4節 被検ガス濃度測定方法

ether ガスの場合は、水蒸気を除くために、塩化カルシウム管を通過せしめた被検ガス

を、水銀の封液を以て Haber-Löwe 干渉計のガス室に送入して濃度を測定した。

cyc の場合は、Hoolamite 並びに NBS 検知管に、所定の送人体積と送入時間とを以て、被検ガスを送入して、濃度を測定した。

第3章 実験成績

第1節 ether ガスの手術室空気中分布について

ether 閉鎖循環式麻酔並びに ether 開放点滴法施行中の手術室空気中の ether ガス濃度分布状況は、第1表に示す通りである。すなわち、手術室空気中の ether ガス濃度は、大体 $1/20 \sim 1/100$ % の範囲に含まれ、その最高

濃度は麻酔患者の口辺部で、0.065%を示し、この値は爆発下限界の約 $1/30$ の濃度である。次で麻酔器の周辺部で、その濃度は 0.052%を示し、それ以外の場所では、大体 $1/100$ % 前後であつた。

第2節 cyc の手術室空気中分布について

挿管並びにマスクによる cyc 閉鎖循環式麻酔時の手術室空気中の cyc 濃度分布状況は、第2表に示す通りである。すなわち、手術室空気中の cyc 濃度は、大体 $1/10 \sim 1/100$ % の範囲に含まれ、その最高濃度は挿管時の患者の口辺部で、0.11%を示し、この値は爆発下限界の約 $1/20$ の濃度である。次で麻酔器周辺

第1表 手術室における空気中のエーテルガス濃度測定成績

Nr.	月 日	温 度 (C°)	湿 度 (%)	室 容 積 (m ³)	在 室 人 員	麻 酔 の 種 類	エ ー テ ル 使 用 量 (cc)	測 定 部 位	空 気 中 エ ー テ ル 濃 度 (vol.%)
1	12/6 1956	23	80	280	10	第一回閉鎖循環式	5	床上0.5m 麻酔器部	0.026
2	"	"	"	"	"		20	床上1m 麻酔器より0.5m離れた部	0.052
3	"	"	"	"	"		20	床上0.5m 麻酔器より2.5m離れた部	0
4	"	24	"	220	6	開放点滴	20	床上0.5m 手術台部	0.026
5	"	"	"	"	"		80	床上1m 麻酔器口辺部	0.065
6	"	25	"	280	17	第二回閉鎖循環式	45	床上0.5m 麻酔器部	0.026
7	"	"	"	"	"		45	床上1m 麻酔患者口辺部	0.052
8	"	"	"	"	8	第三回閉鎖循環式	三麻酔 合計 300	床上1m 麻酔器部	0.052
9	"	"	"	"	"			床上0.1m 麻酔器部	0.052
10	"	"	"	"	"			床上1m 麻酔器より2.5m離れた部	0.026
11	"	"	"	"	"			床上0.1m 麻酔器より2.5m離れた部	0.026
12	"	25	"	220	3			床上1m 準備室中央	0

第 2 表 手術室における空気中のサイクロプロペイン濃度測定成績

Nr	月 日	温 度 (C°)	湿 度 (%)	室 容 積 (m ³)	在 室 人 員	麻 酔 の 種 類	サイ クロ プロ ペ イ ン 使 用 量 (l)	測 定 部 位	測 定 法	空 気 中 の サイ クロ プロ ペ イ ン 濃 度 (Vol%)
1	26/9 1956	25	73	280	22	挿 管 に よ る 閉 鎖 循 環 式 麻 酔	3	床上 1m 挿管時麻酔患者口辺部	フミ ット ラ ト	0.11
2	〃	〃	〃	〃	4.8		床上 0.1m 麻酔器部	N B S	0.01	
3	〃	〃	〃	〃	4.8		床上 0.5m 麻酔器部	〃	0.01 以下	
4	〃	〃	〃	〃	5.6		床上 0.8m 調節呼吸時調節弁部	〃	0.032	
5	〃	〃	〃	〃	20		8.4	床上 0.2m 麻酔器部	フミ ット ラ ト	0.01 以下
6	4/10 1956	25	68	280	16	マ ス ク に よ る 閉 鎖 循 環 式 麻 酔	2.5	床上 1m 麻酔患者口辺部	N B S	0.03
7	〃	〃	〃	〃	5.0		床上 1m 麻酔器より 0.5m 離れた部	〃	0	
8	〃	〃	〃	〃	12.5		床上 1m 麻酔患者頭部	〃	0.01	
9	〃	〃	〃	〃	12.5		床上 0.1m 麻酔器より 2m 離れた部	〃	0.01 以下	
10	〃	〃	〃	〃	12.5		床上 0.1m 麻酔器より 2.5m 離れた部	〃	0	
11	〃	〃	〃	〃	〃		7.5	床上 0.5m 調節呼吸時調節弁部	〃	2.2
12	〃	〃	〃	220	4			床上 0.1m 準備室中央	〃	0

部で、その濃度は 0.032% であり、それ以外の場所では、0.01% 以下であつた。しかし、麻酔器の調節弁やマスクの部分から洩れた場合は、その附近で 2.2% を示し、引火濃度を有している。

第 4 章 総括並びに考按

最近の全身麻酔の普及に伴い、各種麻酔剤による吸入麻酔を行う機会が多くなつている。吸入麻酔剤中、引火爆発性を有するものは、ether, vinethene, ethyl chloride, ethylene, cyc 等が挙げられるが、このうち、日常多く使用されているものが、ether 及び cyc である。これらの使用にあつて最も危惧される

ことは、その爆発性であり、そのため不幸な事故をおこすことがしばしばある。

この爆発事故の頻度は、上中³⁾(1952)、天野⁴⁾(1953)、山村⁵⁾(1956) 等によれば、大体 100 万の麻酔例に 2~4 例の割合であり、そのための死亡例は、150~250 万の麻酔例に 1 人位の割合であるという。

爆発の原因については、上中³⁾(1952) は、米国において、1938 年以前は麻酔中に爆発が頻々として起り、230 例の爆発中 53 例は裸火が誘因であつたと報告している。日本においても、初期は電気メスや手術室内の火等が誘因であつたが、近頃は ether 並びに cyc 麻酔を行いながら、電気メスを用いてならない

ことは常識となつてゐるが、矢張り結局、電気メスやモーターの火花等により起り勝ちだといわれている⁵⁾。静電圧のスパークによる爆発例⁵⁾は、空気の乾燥した米国において問題となるのであり、湿度の高い日本では、それほど問題にならないのではないかと思われる。

爆発の最も起り易い部位は、上中⁹⁾(1952)、恩地⁶⁾(1955)等によれば、ガスの洩れるマスクと呼出弁の附近及び麻醉閉鎖系の内部であるという。

これらの麻醉剤を使用する際の爆発防止に対する注意⁷⁾は、(1)麻醉剤の洩れに対する注意、(2)室内環境を爆発の危険から調節すること、(3)引火原因の除去の三項目が挙げられるが、それらに対して、私は手術室の室内環境である温度と湿度とが、etherガス及びcycの爆発下限界並びに最小起爆エネルギーに及ぼす影響を求めることにより、高温度、高湿度になるに従い、爆発範囲は拡大し、また最小起爆エネルギー値は減少して、いずれも容易に爆発を起すような結果をえたが、これより、手術室の室温は 18~24°C、湿度は60%が防爆上、かつ臨床上適当であることを、静電気発生事項をも考慮して定量的に求め、爆発に対する室内環境の調節の関係を明かにした。

また、麻醉患者の呼気排泄による空気中の麻醉ガス濃度を、海獣を用いた実験により検討し、呼気排泄だけでは空気中の麻醉ガス濃度は、とても引火濃度には達しえないことを知った。

また、干渉計と検知管とによる ether ガス及び cyc の簡便な濃度測定法について研究し、これを臨床方面に活用することによつて、今迄推量的であつた手術室空気中の ether ガス及び cyc の濃度分布状況を明かにし、以て防爆対策の一項目である麻醉剤洩れに対する警告とした。

すなわち、手術室空気中の ether ガス並びに cyc 濃度は、大体 1/10% から 1/100% の範囲にふくまれ、これらの麻醉ガスの最高濃度は、

etherガスでは0.065%、cycでは0.11%を示し、これらの値は爆発下限界の 1/20~1/30 であり、推量していたより低濃度であつた。また、その分布濃度は、床上 1 m までの高さによる差はあまり認められなかつたが、距離による差は顕著であり、発生源である麻醉器からの距離にほぼ反比例して薄められるように思われる。このことは、拡散方程式の解⁸⁾である次式からも理論的に証明される。

$$c = \frac{c_0 a}{b-a} \left(\frac{b}{r} - 1 \right)$$

ただし、静穏な部屋の半径を b 、 a の半径を有するガス噴出孔からの濃度を c_0 、噴出孔より r だけ離れた距離の濃度を c とする。

一体に、手術室空気中の麻醉ガス濃度は、麻醉の種類、麻醉剤の使用量、部屋の容積、換気回数等により大きな影響を受けるが、以上の測定結果と、呼気排泄による麻醉ガス濃度の程度とを考え合わせると、空気中の麻醉ガス濃度は一般に低くて、とても引火濃度には達しないように思われる。

しかし、麻醉器の調節弁やマスクの部分から洩れた場合は、その附近で爆発下限界以上の濃度を有しているため、引火の危険性が大きく、その点 ether 並びに cyc 麻醉には嚴重に閉鎖式を用うることが肝要である。とくに、麻醉ガスの切換え時が最も警戒を要する。

また、引火原因の除去の対策としては、直接引火の原因を少くするため、火焰、電氣的火花には、Davy の安全燈の原理に基く装置や耐爆用電気器具を手術室に設備して、その発生を防止し⁹⁾¹⁰⁾、また、静電気発生によるスパークに対しては、手術室の湿度を高め、また intercoupler 等¹¹⁾の静電気を中和する方法により起爆エネルギー以下に電圧を抑えて、その発生を予防することができる。

以上の研究は、引火性麻醉剤を手術室において使用する際の爆発防止のための対策について実験、考察したものである。これらの諸点について考えてみると、防爆対策のうち、引火原因の除去のための対策も重要な項目であるが、それ以上に重視されるべきものは、

とかく等閑視されている麻酔剤洩出による空气中の麻酔ガス濃度並びに室内環境の調節の問題であると思われ、この点、とくに留意して対策を講ずれば、手術室における爆発事故を未然に防止しうるのではないかと考えられる。

第5章 結 論

岡山大学第1外科教室の麻酔施行中の手術室空气中のetherガスは干渉計により、cycは検知管を用いて濃度を測定し、次の結果をえた。

- 1) 手術室空气中に含まれている ether ガス並びにcyc濃度は、大体 $1/10$ %以下である。
- 2) 手術室空气中の最高濃度は、ether ガスでは 0.065%, cyc では 0.11%を示し、

文

- 1) Hirsch, J. & Kappus, A. L.: Z. Hgy. Kr., 110, 391~398, 1929.
- 2) 光田忠雄: 勞働科学, 28, 367~379, 1952.
- 3) 上中省三: 麻酔, 1, 60~62, 1952.
- 4) 天野道之助: 麻酔, 2, 32~33, 1953.
- 5) 山村秀夫: 麻酔, 5, 292~294, 1956.
- 6) 恩地裕: 麻酔の反省, 南江堂, 320, 昭和30.
- 7) 古城雄二, 牧野進: 麻酔, 2, 110~113, 1953.

これらの値は爆発下限界の $1/20 \sim 1/30$ の濃度であり、推量していたより低濃度である。

3) 麻酔ガスの手術室空气中の分布濃度は、床上1mまでの高さによる差はあまり認められないが、距離による変化は顕著であり、発生源からの距離にはほぼ反比例して薄められていくようである。

4) 麻酔ガスが麻酔器の調節弁やマスクから洩れた場合は、その附近で爆発下限界以上の濃度を有しているため、ether 並びに cyc 麻酔には嚴重に閉鎖式を用いることが肝要である。

稿を終るに臨み御指導、御校閲を賜つた恩師緒方益雄教授並びに陣内伝之助教授に深謝する。

献

- 8) Crank, J.: The Mathematics of Diffusion, Oxford, 84 1956.
- 9) 厚見利作: 爆発予防論, 丸善, 昭和16.
- 10) Müller & Hillebrand: 防爆電気機器原論, 蒲生朝郷訳, コロナ社, 昭和19.
- 11) Adriani, J. Techniques and Procedures of Anesthesia, Charles C Thomas Pub., 162~168, 1950.

EXPERIMENTAL STUDY ON PREVENTION AGAINST EXPLOSION OF ANESTHETIC GAS (ETHER AND CYCLOPROPANE)

PART V. ON THE DISTRIBUTION OF ETHER GAS OR CYCLOPROPANE IN THE AIR OF THE OPERATING ROOM

By

Noboru SAKASHITA

Department of Hygiene, Okayama University School of Medicine
(Director: Prof. Dr. M. OGATA)
(Director: Prof. Dr. D. JINNAI)

The concentration of ether gas or cyclopropane in the air of the operating room was analyzed.

- 1) The concentration of ether gas or cyclopropane in the air of the operating room was

mostly below 0.1%.

2) The maximum concentration of ether gas or cyclopropane was 1/20 to 1/30 of the lower explosive limit and was much less than expected.

3) The distribution of the concentration of anesthetic gases in the operating room showed no remarkable difference up to the height of 1 meter from the floor. But it was markedly influenced by the distance from the anesthetic apparatus and diluted substantially in the inverse proportion of it.

4) In case of leaking of gases from the pressure limiting valve or the mask of the anesthetic apparatus, the concentration of gases was enough to explode in the neighbourhood of valve and mask. Therefore, the closed method must be used for the anesthesia with ether and cyclopropane.
