

CONTAMINACION POR ANESTESICOS HALOGENADOS DURANTE EL USO DE TRES CIRCUITOS ANESTESICOS

*SERGIO OCTAVIO GRANADOS-TINAJERO

**MARTE LORENZANA-JIMÉNEZ

***LEONEL CANTO-SÁNCHEZ

RESUMEN

Por cromatografía de gases, se realizó la identificación y cuantificación de los anestésicos halogenados presentes en el área de respiración del anestesiólogo durante el empleo de halotano en 3 circuitos anestésicos. Los circuitos empleados fueron: de no rehalación, de rehalación parcial y cerrado. Este último con flujos de oxígeno equivalentes al consumo metabólico, con la técnica de inyección del anestésico en la manguera de la válvula espiratoria. Como grupo testigo se incluyó una serie de procedimientos con anestesia regional. Los resultados muestran que de los tres circuitos anestésicos, el cerrado es el menos contaminante, ya que en promedio produjo concentraciones muy semejantes a las detectadas en los quirófanos en donde se trabajó con anestesia regional. Por otra parte se demuestra que el empleo del circuito cerrado con la técnica de inyección del anestésico en dosis calculada, además de económica y poco contaminante, resulta segura.

Palabras clave: Contaminación de quirófanos. Riesgos profesionales.

SUMMARY

The identification and quantification of the halogenated anesthetics presents in anesthesiologist breathing are during the use of halothane in 3 anaesthetic circuits was realized by gas chromatography. The circuits used were: No rebreathing, partial rebreathing, and closed. The last one with oxygen flux equivalent to the metabolic consumption with the anaesthetic injection technique in the exhalation valve tube. As control group, a series of procedures of local anaesthesia was included. The results show that the closed circuit is the less contaminating of the 3 ones, because it produced very a like concentrations than those detected on the operating room were they worked with local anaesthesia in average. Besides, it was demonstrated that the use of the closed circuits with the anaesthetic injection technique in calculated dose, resulted safe and even more than economic, less contaminating.

Key words: Operating room contamination. Professional risks.

En el devenir de su existencia el hombre constantemente ha estado expuesto a fuerzas físicas y compuestos químicos que dependiendo de su concentración en el ambiente pueden llegar a resultar tóxicos. La predominancia evolutiva que hasta el momento aparentemente el hombre conserva, se debe en parte a su gran capacidad de adaptación a un ambiente en constante cambio, la cual está siendo seriamente desafiada en los últimos años por una enorme y variada cantidad de agentes contaminantes producidos por una sociedad in-

dustrializada cada vez más dependiente del consumismo.

El medio en el que se desenvuelve el anestesiólogo no escapa a esta tendencia. El quirófano puede jactarse de contar casi en forma exclusiva con sus propios contaminantes ambientales, los cuales han permanecido en él con el beneplácito del personal que comunmente labora en estas áreas, cuando menos en lo que respecta a nuestro país.

Desde 1958, se han desarrollado diversos trabajos a nivel mundial con el fin de evaluar los efectos que tiene

*Médico residente.

**Profesor titular de farmacología. Facultad de medicina. UNAM.

***Médico Anestesiólogo. Hospital de Gineco-Obstetricia No. 4, IMSS.

Trabajo elaborado en el Centro Hospitalario "20 de Noviembre" del ISSSTF

Recibido: 15 de enero de 1986. Aceptado: 25 de abril de 1986.

Sobretiros: Av. Sur 12 núm. 305. Col. Agrícola Oriental. México 9, D.F. 08500.

la contaminación ambiental en las zonas de quirófanos sobre los anestesiólogos y personal que labora en ellos. Un número importante de estos estudios, establece para este grupo laboral, una mayor incidencia de cefalea, fatiga, irritabilidad, agresividad, alteraciones perceptivas, cognitivas y motoras, padecimientos infecciosos debidos a inmunosupresión, incremento en el riesgo de presentar aborto espontáneo y en la incidencia de anomalías congénitas entre sus hijos, mayor frecuencia de padecimientos hepáticos, renales y neoplásicos sobre todo en tejidos linfático y reticuloendotelial, así como mayor incidencia de suicidios y padecimientos malignos como causa de muerte.¹⁻¹⁵ A pesar de las aparentes evidencias que proporcionan estos estudios, recientemente se han publicado varios artículos que señalan algunas de las fallas de los modelos de revisión epidemiológica en los intentos por establecer relación entre ciertos padecimientos y la exposición a concentraciones residuales de anestésicos inhalados.¹⁶⁻²¹ Sin embargo, resulta irrefutable el hecho de que a pesar de la falta de evidencias contundentes sobre la peligrosidad de los gases anestésicos residuales; tampoco se puede sostener que la exposición a estos gases sea segura, y menos aún benéfica.

Por otra parte, se ha observado que existe una relación directa entre el número de litros de oxígeno y óxido nítrico empleados y el grado de contaminación ambiental.²²⁻²⁵ Con el propósito de conocer los niveles de contaminación por agentes anestésicos inhalados

presentes en el área de trabajo del anestesiólogo durante el empleo de tres circuitos anestésicos, se realizó el presente estudio.

MATERIAL Y METODO

Los procedimientos anestésicos se realizaron en los quirófanos del Centro Hospitalario "20 de Noviembre" del I.S.S.S.T.E. El sistema de ventilación (inyección de aire fresco filtrado), se mantuvo funcionando en condiciones normales en todos los casos estudiados (fig. 1). Se emplearon para el estudio 60 eventos anestésicos de pacientes programados para cirugía electiva, que requiriera de un mínimo de 120 minutos de exposición al agente anestésico. El estado físico de los pacientes fue grado 1 y 2 de acuerdo a la clasificación de la A.S.A.

Los eventos anestésicos estudiados se dividieron en 4 grupos de la siguiente manera: Grupo No. 1.- 15 pacientes manejados con bloqueos peridurales y subaracnoides, considerado como grupo testigo.

Grupo No. 2.- 15 pacientes manejados con circuito circular cerrado, con absorbedor de bióxido de carbono, con flujos de oxígeno equivalentes al consumo metabólico (siempre menores de 350 ml/min.), con la técnica de inyección del anestésico en la manguera de la válvula espiratoria mediante el esquema de anestesia cuantitativa.²⁰⁻²¹ (Ver Apéndice No. 1).

Grupo No. 3. 15 pacientes manejados con circuito circular de reinhalación parcial con absorbedor de bió

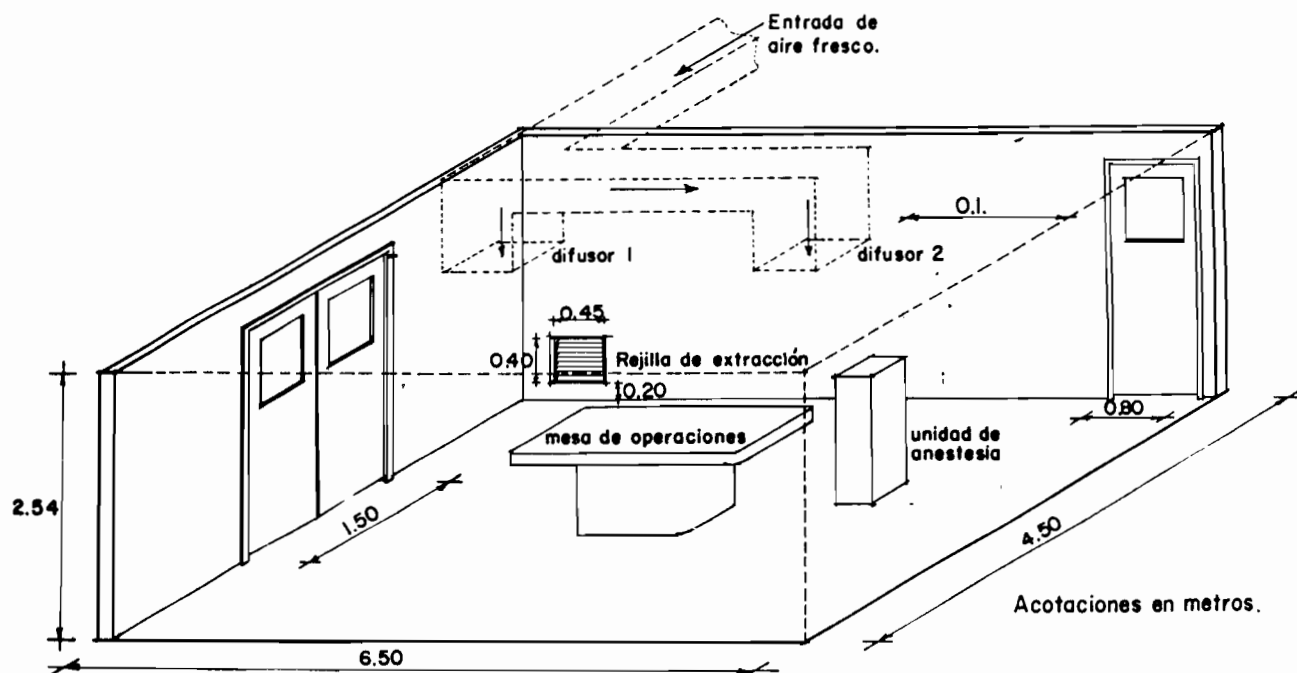


Figura 1. Representación esquemática de un quirófano tipo, con dos entradas de aire fresco en el plafón, y una rejilla para extracción en uno de los muros laterales.

xido de carbono, con flujos de oxígeno iguales al volumen corriente minuto.

Grupo No. 4.- 15 pacientes manejados con circuitos de no reinhalación (en adultos circuito Bain, y Mapleson B en pacientes con peso menor a los 20 Kg.), con flujos de oxígeno de 3 a 10 l/min.

Para el manejo con circuito cerrado, utilizando solamente el consumo metabólico de oxígeno, se excluyeron todos los pacientes con peso inferior a los 20 Kg. Los pacientes que conformaron este grupo, se monitorizaron con gasometrias arteriales cada 30 minutos.

Todos los pacientes que se manejaron con anestesia general inhalatoria, recibieron 30 minutos antes de iniciar la anestesia, 100-200 mcg/kg de Diazepam I.M. como medicación preanestésica. La inducción se realizó con Tiopental 5 mg/kg I.V., y la relajación se obtuvo con succinilcolina 1 mg/kg I.V. para facilitar la intubación endotraqueal, posteriormente se mantuvo solo cuando resultó necesario con bromuro de pancuronio 40 mcg/Kg I.V. El mantenimiento de la anestesia, fue exclusivamente con Halotano y Oxígeno, utilizando vaporizadores Fluotec Mark III en los grupos 3 y 4. En ningún procedimiento se utilizó Enflurano.

Para la toma de muestras del aire ambiente del quirófano, se utilizaron tubos Vacutainer cerrados al vacío, de los empleados comúnmente para la toma de muestras de sangre, con tapón rojo, el cual viene recubierto en su cara interna con una fina capa de glicerina para favorecer el sellado. Los tubos miden 10 × 1.3 cm y la succión aproximada es de 7 ml. Las muestras se tomaron en varias salas quirúrgicas, a la temperatura am-

biente (20-22°C), antes de iniciar el primer procedimiento anestésico del día, a la hora y a las 2 horas de iniciado el mismo. Las muestras se obtuvieron retirando el tapón de los tubos durante 10 segundos en el área de respiración del anestesiólogo (1.20 mt de altura desde el piso y 20-30 cm adelante de su cabeza). Después de 6 a 8 horas de tomadas las muestras se procedió a la identificación y cuantificación de los anestésicos en las mismas. Para ello, se inyectaron, a una temperatura ambiente de $23 \pm 1^\circ\text{C}$, utilizando una jeringa desechable de tuberculina, 0.5 ml de fase gaseosa de cada muestra a un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard modelo 5840 A) con detector de ionización de flama. La columna empleada, fue de acero inoxidable de $6' \times 1/8''$, se empacó con Carbowax 20 M al 10% en Chromosorb WHP 80/100, operada a la temperatura de 70°C , con flujo de Nitrógeno de 22 ml/min.; la temperatura del inyector y del detector fue de 150°C . La identificación de los compuestos se realizó, por comparación con los tiempos de retención de los anestésicos previamente obtenidos (en promedio 2.00 minutos para el halotano, y 2.26 para el enflurano fig. 2).

Para la cuantificación se hicieron curvas de calibración todos los días en que se procesaron muestras. Las curvas de calibración se obtuvieron haciendo diluciones de anestésicos en frascos de 500 ml que contenían aire a la temperatura y humedad ambiente, con tapón de cierre hermético. Generalmente se aplicó un microlitro de anestésico medido con jeringa Hamilton a uno de los frascos, se permitió un tiempo de estabilización de 5 minutos, para empezar a tomar muestras de la mezcla de

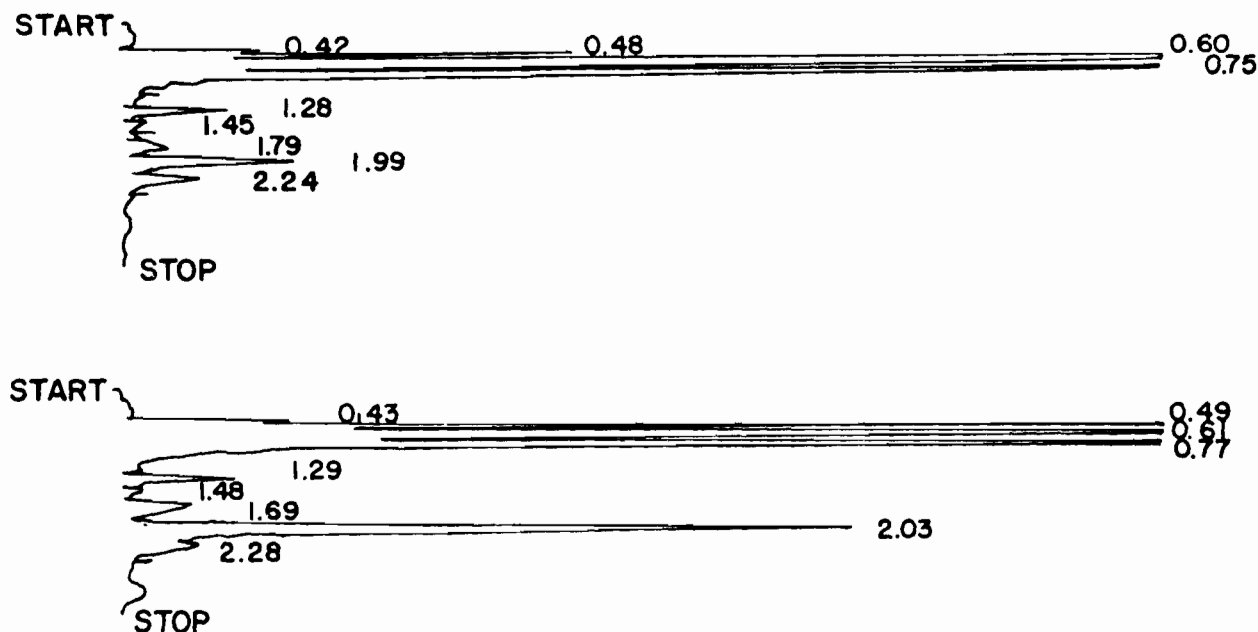


Figura 2.

este frasco y poder hacer las demás diluciones en otros frascos con las mismas características. Al finalizar las determinaciones, se hicieron segundas inyecciones de los frascos con las diluciones de anestésicos, con el propósito de confirmar las señales y evitar errores de interpretación de las áreas integradas.

Los resultados obtenidos se expresaron en términos de microgramos de anestésico por litro de aire. Los valores obtenidos en los diferentes grupos estudiados se compararon utilizando un análisis de varianza para el modelo con un criterio de clasificación.

RESULTADOS

El promedio de las concentraciones de Halotano observadas en el grupo de pacientes manejados con bloqueos a la hora 0, 1 y 2, fueron respectivamente 0, 5.75 y 6.86 mcg/l. En el grupo de pacientes manejados con circuito cerrado, en el mismo orden: 0.79, 5.28 y 6.57 mcg/l. En el grupo de circuito de reinhalación parcial: 7.99, 69.57 y 91.4 mcg/l. En el grupo de pacientes manejados con el circuito de no reinhalación: 5.87, 170.87 y 426.19 mcg/l. (fig. 3).

A pesar de que en ninguno de los casos manejados con anestesia general inhalatoria, se empleó el Enflurano, se obtuvieron las siguientes lecturas correspondientes a este anestésico: En el grupo de bloqueos, los promedios a la hora 0, 1 y 2 fueron respectivamente de 10.91, 56.55, y 22.28 mcg/l. En el grupo de circuito cerrado: 18.49, 59.7 y 23.99 mcg por litro. En el grupo manejado con circuito de reinhalación parcial: 17.25, 63.03 y 64.87 mcg/l. Y en el grupo manejado con el circuito de no reinhalación: 22.47, 39.18 y 31.47 mcg/l. (fig. 4).

Las lecturas de los dos anestésicos para los cuatro grupos se detallan en los cuadros I al IV.

El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos en la hora 0 entre los 4 grupos, tanto para halotano, como para enflurano. Se observó diferencia estadísticamente significativa al comparar los datos obtenidos en la hora 1 y 2 de los 4 grupos para el halotano, con $p = 0.0001$ y 0.0042 respectivamente. En el caso del enflurano, no se obtuvieron diferencias significativas al comparar los resultados obtenidos en las horas 1 y 2 en los 4 grupos.

Al comparar las tres series de datos obtenidos para halotano, tanto en el grupo de bloqueos, como el de circuito cerrado, no se observaron diferencias estadísticamente significativas. En cambio al comparar las tres series de datos obtenidas también para halotano en los

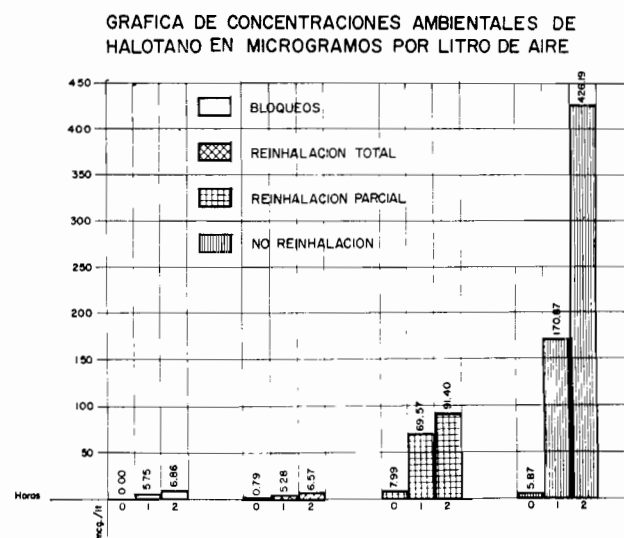


Figura 3.

CUADRO I
GRUPO DE BLOQUEOS (MICROGRAMOS/LITRO)

Caso	Hora 0		Hora 1		Hora 2	
	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano
1	0	13.2	2.6	0	0	10.2
2	0	0	0	107.6	0	0
3	0	0	0	193.4	0	0
4	0	17.8	0	110.8	0	88.9
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	18.5	0	11.0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	61.5	5.0	62.9	0	47.3
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	6.5	0	0	0
13	0	37.6	0	0	0	0
14	0	33.6	26.1	183.2	28.6	92.9
15	0	0	46.1	171.8	58.6	78.9
ZX		10.91	5.75	56.55	6.86	22.28

grupos de pacientes manejados con los circuitos de reinhalación parcial, y de no reinhalación, se observaron diferencias estadísticamente significativas, con $p = 0.0049$ y 0.024 respectivamente.

Para el enflurano, al comparar las tres series de datos (hora 0, 1 y 2), tanto en el grupo del circuito de reinhalación parcial, como en el de no reinhalación, no se observaron diferencias significativas. En cambio, al comparar los datos de los grupos manejados con bloques y con circuito cerrado, si se observaron diferencias estadísticamente significativas con $p = 0.04$ y 0.01 respectivamente.

A los resultados de las gasometrías arteriales realizadas cada 30 minutos a los pacientes sometidos a manejo anestésico con el circuito cerrado se les calcularon: promedio aritmético, desviación estándar y la varianza. Estos cálculos se enlistan en la siguiente tabla.

GASOMETRIAS ARTERIALES			
	X	Varianza	Desviación Estándar
pH	7.408	0.0031	0.056
P O ₂	296.84	1823.900	42.70
PaCO ₂	31.68	16.88	4.10
HCO ₃	19.51	1.20	1.099
E.B.	3.71	1.38	1.17
CO ₂	19.87	3.26	1.80

DISCUSION

Se decidió la utilización de tubos vacutainer cerrados al vacío para la toma de muestras de aire ambiente, después de realizar una serie de pruebas, comparándolos incluso con las esferas de vidrio con 2 válvulas,

operadas con bombas de vacío, comunmente relatadas en la literatura extranjera; resultando los tubos más confiables, manejables y económicos. Los resultados se reportan en microgramos de anestésico por litro de aire por ser esta relación una de las indicadas por el Sistema Internacional de Unidades,²⁶ tratando de este modo de alejarnos de las tradicionales unidades de medidas para estas determinaciones, las partes por millón (p.p.m.) y partes por billón (p.p.b.), las cuales engañosamente resultan fáciles de comprender, pero en realidad se prestan a importantes confusiones. Baste señalar por ejemplo, que un billón en algunos países equivale a mil millones (Francia y Estados Unidos de América), mientras que en otros (México) equivale a un millón de millones.

De cualquier forma, si el lector desea convertir las

GRAFICA DE CONCENTRACIONES AMBIENTALES DE ENFLURANO EN MICROGRAMOS POR LITRO DE AIRE

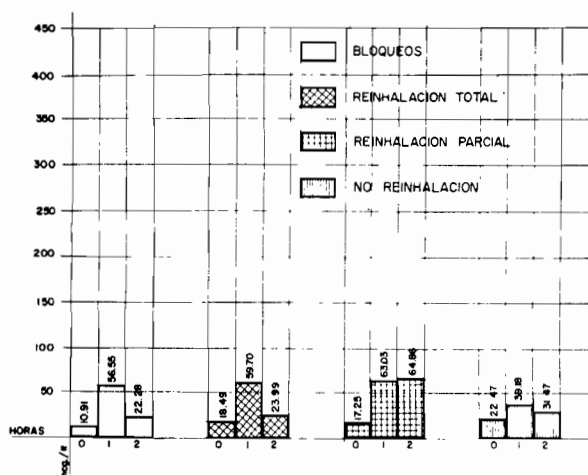


Figura 4.

CUADRO II
CIRCUITO CERRADO (MICROGRAMOS/LITRO)

Caso	Hora 0		Hora 1		Hora 2	
	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano
1	0	21.0	0	105.8	15.0	66.8
2	0	19.3	0	96.7	0	57.2
3	0	42.8	0	101.6	23.9	53.9
4	0	53.9	0	93.0	15.3	91.4
5	0	0	0	0	0	30.1
6	0	0	0	212.8	14.6	0
7	0	14.0	0	59.9	3.2	22.8
8	0	13.1	0	41.1	0	0
9	0	0	0	13.2	0	0
10	0	0	8.4	24.8	11.2	0
11	0	0	6.3	73.2	0	10.9
12	0	0	6.3	72.4	0	0
13	11.8	45.2	0	0	9.7	26.8
14	0	34.4	0	0	0	0
15	0	33.6	0	0	5.7	0
X	0.79	18.19	28	59.7	6.57	23.99

unidades empleadas en nuestro reporte a partes por millón, no tiene más que dividir nuestros datos entre 1870 (atendiendo a la gravedad específica o densidad del halotano líquido a 20°C), los reportes de enflurano para hacer esta conversión deben dividirse entre 1520 por la misma razón. Atendiendo además a la norma de que para gases y vapores en aire se recurre a la relación volumen volumen (v v), en donde 1 p.p.m., es igual a 0.0001 vol. %; y en caso de tener determinaciones de halotano en sangre, 1 p.p.m. (v v) = 0.187 mg%, mientras que para el enflurano equivaldría a 0.152 mg%.⁷

A pesar de que en ninguno de los procedimientos anestésicos se utilizó el enflurano, este anestésico gene-

ralmente se detectó en el ambiente del quirófano, incluyendo a las muestras obtenidas en los 4 grupos en la hora 0, tendiendo a aumentar a la hora 1 y posteriormente disminuir a la segunda hora. Este fenómeno concuerda con las observaciones hechas por Samulksa,²⁸ Murray,²⁹ y Nicholson³⁰ relacionadas con la fijación de los anestésicos a los materiales de algunos elementos de la máquina de anestesia, a pesar de haber transcurrido varias horas después de su empleo.

En lo que se refiere al grado de contaminación producido por los 3 diferentes circuitos anestésicos empleados, el menos contaminante fue el circuito cerrado, produciendo niveles de contaminación prácticamente iguales a los detectados en los quirófanos donde el pro-

CUADRO III
CIRCUITO DE REINHALACION PARCIAL (MICROGRAMOS/LITRO)

Caso	Hora 0		Hora 1		Hora 2	
	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano
1	0	0	53.2	0	0	0
2	0	0	93.3	101.1	35.8	65.3
3	0	0	49.0	17.6	36.6	12.8
4	0	0	39.9	25.6	134.6	0
5	22.6	25.8	34.2	76.8	67.7	52.0
6	0	0	60.9	0	103.4	0
7	71.5	79.5	112.1	212.1	100.5	128.3
8	25.8	43.1	234.8	261.9	426.5	445.2
9	0	0	135.2	0	80.2	0
10	0	0	91.4	0	109.4	0
11	0	14.4	7.3	12.0	18.7	23.7
12	0	0	67.6	76.8	67.7	52.0
13	0	20.7	44.3	120.8	70.5	118.0
14	0	18.6	8.4	21.9	69.8	31.2
15	0	56.6	12.0	18.8	50.6	44.4
X	7.99	17.25	69.57	63.03	91.4	64.86

CUADRO IV
CIRCUITO DE NO REINHALACION (MICROGRAMOS/LITRO)

Caso	Hora 0		H O r a 1		H O r a 2	
	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano	Halotano	Enflurano
1	0	0	405.9	0	129.6	0
2	0	13.5	70.2	43.1	498.1	53.8
3	0	0	274.7	0	289.8	0
4	0	0	105.1	0	75.6	0
5	0	0	135.7	66.9	283.8	76.8
6	0	9.2	50.4	19.7	76.3	72.0
7	88.1	51.3	58.3	101.5	44.6	0
8	0	0	33.7	0	84.9	124.3
9	0	56.7	36.2	0	127.1	0
10	0	0	49.7	30.8	89.2	50.4
11	0	136.7	53.8	111.0	135.0	0
12	0	69.6	461.3	0	1 929.3	0
13	0	0	132.3	106.2	42.5	94.8
14	0	0	78.1	36.4	379.0	0
15	0	0	617.6	72.1	2 208.1	0
X	5.87	22.47	170.87	39.18	426.19	31.47

cedimiento anestésico fue a base de bloqueos peridurales y subaracnoideos. Por otra parte el uso del circuito cerrado, con flujos de oxígeno equivalentes al consumo metabólico, con inyección del anestésico en la manguera de la válvula espiratoria mediante el esquema de anestesia cuantitativa, resultó bastante segura, como lo muestran los reportes de las gasometrías arteriales; además del ahorro que implica el evitar el desperdicio de anestésico, la reducción en el flujo de oxígeno empleado, la compra de un vaporizador para cada anestésico usado, y los costos por su mantenimiento en condiciones óptimas de funcionamiento.

CONCLUSIONES

1.- Los tubos vacutainer cerrados al vacío empleados en la recolección de muestras de aire ambiente en las áreas de quirófanos resultan confiables, manejables y económicos.

2. La cromatografía de gases, es una técnica segura, eficaz y disponible en nuestro país para la realización de un monitoreo más extenso de las condiciones ambientales en los quirófanos.

3.- Si bien las ventajas del circuito cerrado son tan frecuentemente exageradas por sus simpatizantes, como lo son sus riesgos por sus detractores; resulta ostensible la disminución de la contaminación ambiental en el quirófano durante su empleo. Por otra parte nos permite conservar el calor y la humedad en las vías aéreas del paciente. El uso racional de este circuito, nos permite proporcionar con seguridad, el consumo metabólico de oxígeno, además de proporcionarnos algunos parámetros respiratorios y cardiovasculares, tales como la producción de CO_2 , el volumen ventilatorio minuto, gasto cardíaco aproximado y los requerimientos basales de líquidos.

4.- El empleo de un anestésico que goza de ciertas ventajas, pero de tan alto costo como resulta ser el isoflurano, en países con dificultades económicas, será más fácil de lograr mediante el uso del circuito cerrado.

5. Dado que el mayor grado de contaminación se alcanza durante el uso del circuito de no reinhalación, hay que reservar su empleo a los pacientes en quienes resulte estrictamente necesario, teniendo especial cuidado en facilitar la eliminación de los gases espirados por el paciente. En los casos en que sea posible contar con un circuito circular tipo Bloomquist, se puede recurrir a la técnica de circuito cerrado con inyección del anestésico en el circuito, con el esquema de anestesia cuantitativa, con mínimos ajustes, incluso en pacientes pediátricos.¹¹

APENDICE NO. 1 CIRCUITO CERRADO CON INYECCION DEL ANESTESICO EN LA MANGUERA DE LA VALVULA ESPIRATORIA MEDIANTE EL

ESQUEMA DE ANESTESIA CUANTITATIVA.^{20 21 31}

La base de esta técnica parte del cálculo del No. de Brody, el cual se obtiene elevando el peso en kg. del paciente a la tercera potencia y posteriormente obteniendo la raíz cuarta. Si se tiene por ejemplo un paciente de 70 kg. se procede como sigue: $70^3 = 343,000$

$$= \text{raíz cuarta de } 70 \times 70 \times 70$$

$$= \text{raíz cuarta de } 343,000$$

que equivale a la raíz cuadrada de la raíz cuadrada de 343,000 = raíz cuadrada de 585.66201 = 24.200 (No. de Brody para este paciente). Este No. es la base del esquema de Brody, el cual se desarrolla así: No. de Brody $\times 5$ = requerimientos basales de líquidos en ml/hora. No. de Brody $\times 2$ = Gasto Cardíaco en dl/minuto.

No. de Brody $\times 10$ = Consumo metabólico de oxígeno en ml/minuto.

El consumo metabólico de oxígeno en ml. minuto $\times$

$$\frac{\text{Producción de } \text{CO}_2 \text{ (ml. min.)}}{\text{Ventilación alveolar (ml. min.)}}$$

$$\frac{\text{Pa } \text{CO}_2 \text{, descaída}}{\text{P barométrica} - 17}$$

$$\text{Ventilación alveolar} + \text{Ventilación de espacio muerto} = \text{Ventilación total (ml. min.)}$$

De acuerdo con el ejemplo anterior, en el paciente de 70 Kg, la producción de CO_2 es de 193.6 ml min (242×0.8), lo cual equivale a 11.61 litros hora; y ya que 100 gr. de cal sodada absorben 20 l de CO_2 , se tiene un amplio margen de seguridad en lo que se refiere a la producción de CO_2 en el transoperatorio, por lo que si antes de iniciar el procedimiento anestésico se cambia la cal sodada, la única posibilidad de hipercarbia estará relacionada con deficientes patrones de ventilación. El consumo de oxígeno debe ajustarse en casos de aumento en la temperatura corporal, incrementándolo en un 10-20% por cada °C de aumento.

Tanto estudios empíricos como cálculos matemáticos han demostrado que una ecuación de saturación exponencial, puede predecir la velocidad con la que el cuerpo capta un agente anestésico. Así, se ha observado que la velocidad de captación disminuye inversamente a la raíz cuadrada del tiempo de administración, o dicho de otra manera, el No. de dosis acumulativa del anestésico es directamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de aplicación de la dosis. De moto tal que las dosis de anestésicos son inyectadas en la manguera de la válvula espiratoria a intervalos que corresponden al cuadrado del número de la dosis.

No. de dosis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
No. de dosis ²	0	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100	121
(minuto de aplicación)												

El cálculo de la dosis unitaria de anestésico se basa

en factores que influyen la captación del agente anestésico, tales como el nivel de anestesia deseado (factor MAC), gasto cardiaco, y el coeficiente de solubilidad sangre/gas del agente anestésico en cuestión, por lo que la dosis unitaria se calculará considerando todos estos factores.

(Factor MAC).- Si con la concentración alveolar mínima se evita la reacción generalizada de los músculos estriados ante un estímulo quirúrgico estándar (incisión) en el 50% de los pacientes, este 50% se incrementa a más del 90% si se utiliza 1.3 veces la concentración alveolar mínima, por lo que en general nuestros cálculos se basan en la multiplicación del MAC $\times$ 1.3; de modo tal que la dosis unitaria en volumen de anestésico líquido es igual a:

$$2 \quad 1.3 \text{ MAC} \times \text{Coef. Sol. S/gas} \times \text{G.C. en dl/min.} \\ \text{Vapor de 1 ml del anestésico usado}$$

Si continuamos haciendo el ejemplo para un paciente de 70 Kg., la dosis unitaria será:

$$2 \quad 1.3 (0.75) \times 2.3 \times 48.4 = 0.8933 \text{ ml de Halotano} \\ 243$$

Estas dosis calculadas se disminuyen un 20% cuando se emplea el bromuro de Pancuronio en el mantenimiento de la relajación transanestésica. En nuestro estudio, además se hizo otro ajuste para nuestra población,

disminuyendo entre un 10 a 15% de dosis calculada recomendada. Por otra parte, la dosis unitaria debe disminuirse un 10% por cada década de la vida a partir de los 60 años.

Para la dosis inicial (dosis cero), hay que emplear de 1.5 a 2 veces la dosis unitaria. El mantenimiento de la anestesia se consigue aplicando las dosis unitarias calculadas en los tiempos recomendados, ajustándolas a las condiciones clínicas del paciente, profundidad anestésica requerida y estimulación quirúrgica, así como el estado cardiovascular del paciente. Aproximadamente al momento de aplicar la dosis No. 4 (minuto 16), se estará en condiciones anestésicas adecuadas para dar inicio a la cirugía.

Terminación de la Anestesia.- Si por ejemplo, en el minuto 64 se observa que es posible que la cirugía termine al rededor del minuto 81, la dosis que normalmente se aplicaría en el minuto 64 se omite y la anestesia se mantiene en estas condiciones hasta el minuto 81, o si se considera necesario de acuerdo a la valoración individual del caso se pueden aplicar dosis fraccionadas adicionales. Una vez terminada la cirugía, o en caso de profundización importante e indeseable del plano anestésico, se abre el circuito, y se emplean flujos de 5 a 10 l/minuto de oxígeno al 100%.

REFERENCIAS

1. A National Study. Occupational Disease among Operating Room Personnel. Report of an Ad Hoc Committee on the Effect of Trace Anesthetics on the Health of Operating Room Personnel. American Society of Anesthesiologists. Anesthesiology 1974; 41:321-340.
2. COHEN E N, BELVILL J W, BROWN B W: Anesthesia, pregnancy and miscarriage. A study of operating room nurses and anesthesiologists. Anesthesiology 1971; 35:343-347.
3. KNILL-JONES R P, MOIR D D, RODRIGUEZ L V, ET AL: Anesthetic practice and pregnancy: controlled survey of women anesthesiologists in the United Kingdom. Lancet 1972; 2:1326-1328.
4. CORBETT T H, CORNELL R G, ENDERS J L, LIEDING K: Birth defects among children of nurse-anesthetists. Anesthesiology 1974; 41:341-344.
5. PHAROAH P O, ALBERMAN E, DOYLE P: Outcome pregnancy among women in anesthetic practice. Lancet 1977; 1:34-36.
6. CORBETT H T, CORNELL R G, LIEDING K, ENDERS L J: Incidence of cancer among Michigan nurse anesthetists. Anesthesiology 1973; 38:260-263.
7. BRUCE D L: Acute and chronic Anesthetic actions on Leukocytes. Anad Anaesth Soc J 1973; 20:55-63.
8. MATHIEU A, MATHIEU D, KERNAN R: Immunological defects in anesthesiologists and other operating room (or) personnel. 7th World Congress of Anaesthesiologists. Hamburg F.R.G. Abstracts. Excerpta Medica, Amsterdam Oxford-Princeton, 1980, pp 178.
9. KATSKIN G, KIMBERG D V: Recurrent hepatitis attributable to halothane sensitization in an anesthetist. New Engl J Med 1969; 280:515-519.
10. DE LILLE F R: Contaminación ambiental en la sala de operaciones y sus consecuencias para el anestesiólogo y personal que labora en ellos. Rev Mex Anest 1985; 8:121-124.
11. BRUCE D L, BACH M J: Psychological studies of human performance as affected by traces of enflurane and nitrous oxide. Anesthesiology 1975; 42:194-196.
12. BRUCE D L, BACH M J, ARBIL J: Trace anesthetic effects on perceptual cognitive and motor skills. Anesthesiology 1971; 40:453-458.
13. FERSTANDIG L L: Trace concentrations of Anesthetic Gases. A critical Review of their Disease Potential. Anesth Analg 1978; 57:328-345.
14. BRUCE D L, EIDE K A, LINDE H W, ECKENHOFF J E: Causes of death among Anesthesiologists: A 20-Year Survey. Anesthesiology 1968; 29:565-569.
15. LEW E A: Mortality experience among anesthesiologists 1954-1976. Anesthesiology 1979; 51:195-199.
16. HUSUM B, WULF H C, NIEBUHR E: Monitoring of sister chromatid Exchanges in Lymphocytes of Nurse Anesthetists. Anesthesiology 1985; 62:475-479.
17. HUSUM B, WULF H C, NIEBUHR E: Sister chromatid Exchanges in Lymphocytes after anaesthesia with halothane or enflurane. Acta Anaesthesiol Scand 1981; 25:97-98.
18. HUSUM B, WULF H C, NIEBUHR E: Sister Chromatid exchanges in human lymphocytes after anaesthesia with fluoroxene. Br J Anaesth 1982; 54:987-990.
19. HUSUM B, WULF H C, NIEBUHR E, KYST A, VALENTIN N: Sister Chromatid exchanges in lymphocytes of humans anaesthetized with isoflurane. Br J Anaesth 1984; 56:559-564.
20. MAZZE R I: The Health of Operating Room Personnel. Anesthesiology 1985; 62:226-228.
21. BURING J E, HENNEKENS C H, MAYNARD S L, ROSNER B, GREENBERG E T, COLTON T: Health Experiences of operating room personnel

- Anesthesiology 1985; 62:325-330.
22. USUBIAGA L, ALDRETE J A, FISEROVA%BERGEROVA V: *Influence of gas flows and operating room ventilation on the daily exposure of anesthetics (halothane)*. Anesth Analg 1972; 51:968-973.
23. WHITCHER CH E, COHEN E N, TRUDELL J R: *Chronic Exposure to Anesthetic Gases in the operating room*. Anesthesiology 1971; 35: 348-353.
24. O'LEARY P M: *Clinical Use of closed circuit Anesthesia*. Department of Anesthesia, Sinai Hospital of Detroit. Comunicación personal.
25. LOWE H J, ERNEST E A: *History of closed circuit Anesthesia, Why Should Closed Circuit Anesthesia Be Practiced? Uptake and Distribution: Model Development, Uptake and Distribution: Square Root of Time Model. Using Volatile Agents. The Quantitative Practice of Anesthesia*. Copyright, 1981. Baltimore. Williams and Wilkins. Pag. 3-10, 11-26, 53-66, 67-98, 175-206.
26. GARCIA S M: *El sistema internacional de unidades en la práctica médica*. Rev Fac Med 1980; 26:376-399.
27. HALLEN B, EHRNER SAMUEL H, THOMASON M: *Measurements of Halothane in the atmosphere of an operating theatre and in expired air and blood of the personnel During Routine anaesthetic work*. Acta Anesth Scandinav 1970; 14:17-27.
28. SAMULKA H M, RAMAIAH S, NOBLE W H: *Unintended exposure to halothane in surgical patients: Halothane washout studies*. Canad Anesthe Soc J 1972; 19:35-41.
29. MURRAY W J, FLEMING P: *Patient exposure to residual fluorinated anaesthetic agents in anesthesia-machine circuits*. Anesth Analg 1973; 52:23-26.
30. NICHOLSON J A, TSUNE S, ALDRETE J A: *Residual Halothane: Patient and Personnel exposure*. Anesth Analg 1975; 54:449-454.
31. CUOTO DA SILVA J M, TUBINO P J, VIEIRA ZEG, SARAIVA R A: *Closed Circuit anesthesia in infants and children*. Anesth Analg 1984; 63:765-769.