



## Flujos bajos en anestesia

Dr. José Manuel Portela-Ortiz,\* Dr. Christopher Hernández-Cortés,\*\* Dra. Carolina Delgadillo-Arauz\*

\* Médicos Anestesiólogos. Departamento de Anestesiología.

\*\* Médico Residente de Anestesiología de tercer año. Facultad Mexicana de Medicina. Universidad La Salle.  
Hospital Ángeles Pedregal.

Tal y como lo menciona Mychaskiw G<sup>(1)</sup>: «en la tradición de que todo lo antiguo es nuevo otra vez», en los últimos años el uso de flujos bajos en anestesia ha tomado un fuerte resurgimiento debido a factores económicos y ambientales, avances en la tecnología de monitoreo y por la introducción de «nuevos» gases anestésicos inhalados<sup>(2)</sup>.

Esto debido a que se ha demostrado que dentro de los beneficios de los flujos bajos se incluye un decremento en el uso de los agentes anestésicos inhalados, una mejora en la temperatura corporal y en la homeostasis de la humedad y una reducción en la contaminación ambiental<sup>(3)</sup>.

Para la definición de flujos bajos nos debemos auxiliar de clasificaciones previamente descritas; entre éstas, las modificaciones sugeridas por Baker<sup>(4)</sup> de la clasificación de Simionescu<sup>(5)</sup> y plasmada posteriormente por Baxter en su revisión de flujos bajos y mínimos<sup>(2)</sup>, la cual se puede ver en el siguiente cuadro I:

### VENTAJAS DEL USO DE FLUJOS BAJOS

#### Disminución de la contaminación ambiental

Actualmente, los anestésicos volátiles en uso son compuestos halogenados con el potencial de destruir la capa de ozono; el efecto de un anestésico volátil en la depleción de la capa de ozono depende de su peso molecular, el número y tipo

**Cuadro I.** Clasificación de los flujos.

Flujo metabólico	< 250 mL/min
Flujo mínimo	250 a 500 mL/min
Flujos bajos	500 a 1,000 mL/min
Flujos medios	1 a 2 L/min
Flujos altos	2 a 4 L/min
Flujos muy altos	> 4 L

de átomos halogenados y su vida atmosférica (el tiempo en remover 63% del gas emitido)<sup>(6)</sup>.

El uso de anestésicos volátiles puede ser reducido hasta en un 80 al 90% si se generaliza el uso de circuitos cerrados y si se usan rutinariamente los flujos bajos<sup>(6)</sup>.

Debido a que se utilizan flujos de gas fresco bajos, se incrementa la cantidad de reinhalación, lo que aumenta a su vez la cantidad de absorbentes de dióxido de carbono, el cual también tiene un impacto ambiental; sin embargo, es improbable que supere el impacto de los anestésicos inhalados<sup>(7)</sup>.

La evidencia actual es insuficiente para determinar si la contribución del anestésico es significativo en el cambio de clima global<sup>(6)</sup>; sin embargo, el reducir el flujo de gas fresco tiene un potencial efecto benéfico en la calidad de aire en el área de trabajo<sup>(3)</sup>.

#### Aspectos económicos

Se ha demostrado que utilizar flujos bajos ayuda a disminuir los gastos en la anestesia<sup>(3)</sup>.

También que el consumo de sevoflurano se ve aumentado más del doble cada vez que se aumenta al doble el flujo bajo<sup>(3)</sup>. Asimismo se ha demostrado que se puede aumentar el número de horas de anestesia por botella de sevoflurano hasta en un 73.7% (17.4 horas por botella)<sup>(3,8)</sup>.

#### Conservación del calor y la humedad

Los gases anestésicos comprimidos son fríos y secos; utilizar flujos bajos ayuda a conservar la humedad y la temperatura<sup>(3)</sup>.

### ASPECTOS TEÓRICOS Y BASES FISIOLÓGICAS

Para el manejo de un flujo fresco de gas se requiere, entre otros factores, de una comprensión de los sistemas de cir-

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/rma>

cuito, el consumo de oxígeno, la absorción y distribución de los anestésicos<sup>(7)</sup>:

- **Consumo de oxígeno.** El consumo de oxígeno del gas inspirado se relaciona con los requerimientos fisiológicos, los cuales son dependientes del tamaño del cuerpo y las necesidades metabólicas. Puede ser estimado por la fórmula<sup>(3)</sup>:

$$VO_2 = FiO_2 - Fexp O_2 (\%) \times MV (L) \times 10.$$

Donde  $FiO_2$  es la fracción inspirada de oxígeno,  $Fexp O_2$  la fracción expirada de oxígeno y  $MV$  es la ventilación por minuto.

Si consideramos que el consumo de oxígeno durante la anestesia en circunstancias fisiológicas normales es de 2 a 3 mL/kg/min, el flujo de gas puede ser disminuido con seguridad hasta 250 a 500 mL en adultos con peso menor a 100 kg<sup>(3)</sup>.

Se utiliza el valor de 5 mL/kg/min como un aproximado, ya que esta regla sobreestimará el consumo de oxígeno y permitirá crear un margen de seguridad al momento de satisfacer las necesidades<sup>(7)</sup>.

- **Sistemas de circuitos.** Circuito abierto: ocurre cuando el flujo de gas fresco es lo suficientemente alto para que no haya reinhalación; la concentración del gas inspirado será equivalente a las concentraciones en el flujo fresco de gas<sup>(7)</sup>. Circuito cerrado: únicamente el suficiente gas fresco es suministrado para reemplazar el que consume el paciente. Todo el gas inhalado es reinhalado y ninguno de los gases ingresa al sistema de desecho. Las concentraciones de gases en el circuito cambian muy lentamente a no ser que se utilicen el rango amplio de valores que tiene el vaporizador. Por ejemplo en el de desflurano, valores de 0-18%<sup>(7)</sup>.

- **Absorción y distribución de los anestésicos inhalados.** Seis factores principales influyen en la absorción y distribución de los anestésicos inhalados: la presión parcial del gradiente del anestésico a través de la membrana alveolar, la ventilación alveolar, el coeficiente de solubilidad sangre-gas del anestésico inhalado, el gasto cardíaco, la absorción de los anestésicos inhalados en los diferentes compartimentos del cuerpo y la solubilidad de los fármacos en el sistema nervioso central<sup>(3)</sup>.

Son requerimientos básicos al utilizar flujos bajos: el equipo de monitoreo que mide las concentraciones de gas inspirado y expirado, la medición continua de la saturación de oxígeno, la medición de la ventilación por medición del dióxido de carbono al final de la inspiración, así como un absorbente de  $CO_2$ <sup>(3)</sup>.

## ASPECTOS FARMACOLÓGICOS DE LOS ANESTÉSICOS INHALADOS

El conocimiento de las características farmacocinéticas de los anestésicos en el contexto de los flujos bajos es esencial para su aplicación clínica segura y efectiva (Cuadro II)<sup>(3)</sup>.

Es necesario el conocimiento de la cinética de la administración de los fármacos, la concentración del gas como la fracción de concentración del gas ( $F_d$ ), la concentración inspirada del anestésico ( $F_{ia}$ ), la concentración alveolar determinada por la concentración del anestésico al final de la inspiración ( $E_{taa}$ ) así como su absorción y su distribución<sup>(3)</sup>.

## MANEJO DE LOS FLUJOS DURANTE LA INDUCCIÓN

Durante el proceso de inducción, el volumen interno de la máquina de anestesia, el circuito y la capacidad funcional del paciente deben ser llenados con las concentraciones deseadas del anestésico. Según el circuito utilizado, el volumen interno total típicamente excede los 5 L<sup>(7)</sup>.

Así, durante la inducción podemos escoger entre dos manejos:

- En el primer manejo, el flujo de gas debe exceder la ventilación minuto para eliminar la reinhalación, ya que ésta reduciría la concentración inspirada y por tanto haría más lento el proceso de inducción<sup>(6)</sup>. Sin embargo, no hay beneficio al aumentar el flujo fresco más allá de la cantidad necesaria para eliminar la reinhalación<sup>(7)</sup>.
- En el segundo manejo, se podría aumentar la concentración en el vaporizador (18 vol. % para el desflurano y 8 vol. % para el sevoflurano) y utilizar flujos bajos (eje: 0.7 L/min) con una mezcla, que incluya o no al óxido nitroso, para la conducción de los mismos.

Lo anterior lleva a la práctica común de cerrar el vaporizador cuando la mascarilla facial se retira para proceder a la intubación del paciente, provocando así que los gases

**Cuadro II.** Variables de importancia en la farmacocinética de los flujos bajos<sup>(3)</sup>.

Concentración del dial, concentración en el vaporizador	$F_d$
Concentración del agente anestésico inspirado	$F_{ia}$
Concentración del agente anestésico al final de la inspiración	$E_{taa}$
Concentración alveolar del agente anestésico	$F_A$
Concentración del agente anestésico en el sitio de efecto	$C_e$

anestésicos que se han acumulado en el circuito anestésico sean empujados al ambiente contaminándolo al iniciar el flujo fresco<sup>(7)</sup>. Para reducir esto se recomienda cerrar el flujo fresco de gas durante la intubación y dejar el vaporizador abierto, ya que ante la ausencia de flujo fresco ninguno de los anestésicos son lavados hacia el ambiente y los gases que se encuentran en el circuito son preservados<sup>(7)</sup>. Existe el concepto de «sobrepresión» que indica un aumento súbito en el dial del vaporizador hasta llegar al MAC deseado logrando así concentraciones inspiradas y expiradas equilibradas.

Si consideramos que la absorción del anestésico por parte de los pulmones continúa, cuando se reduce el flujo aumenta la posibilidad de reinhalación y de que la concentración del gas disminuya<sup>(7)</sup>, por lo cual es muy importante observar el analizador de gases anestésicos en línea y asociarlos con los datos clínicos de profundidad anestésica mostrados por el paciente. Si el valor anestésico exhalado es más bajo que el necesario para mantener la concentración anestésica deseada, un incremento en el flujo fresco de gas y/o un aumento en la concentración del vaporizador restaurará la concentración deseada del anestésico<sup>(7)</sup>.

El nitrógeno constituye una parte importante del aire ambiente y de las vías aéreas y por lo tanto debe de ser considerado en la anestesia con flujos bajos<sup>(3)</sup>. Un adulto de 70 kg tiene aproximadamente 2.7 L de gas nitrogenado (1.6 L en la capacidad residual funcional y 1.1 L disueltos en los compartimentos de agua y grasa en el cuerpo)<sup>(3)</sup>. Después de la desnitrógenación < 1 L permanece en el cuerpo y es lentamente exhalado, por lo tanto podemos encontrar una concentración de nitrógeno de hasta 18% en un circuito cerrado<sup>(3)</sup>.

El nitrógeno, el metano y la acetona se acumulan en cantidades pequeñas durante el procedimiento anestésico; sin embargo, mientras se mantengan las concentraciones de oxígeno de manera adecuada, éstas no deben de ser de importancia<sup>(6)</sup>.

Al momento de utilizar flujos bajos, es importante tomar en cuenta las fugas en el circuito. Si se está utilizando un analizador de gas para tomar muestras de gas del circuito, el volumen removido (aproximadamente 200 mL) debe de ser reemplazado por flujo fresco de gas<sup>(7)</sup>.

### MANEJO DE LOS FLUJOS DURANTE EL MANTENIMIENTO

La fase del mantenimiento de la anestesia es el mejor momento para reducir los flujos frescos de gas debido a que comúnmente es la fase más larga del procedimiento y a que la concentración del gas anestésico es relativamente estable<sup>(7)</sup>. Durante ésta, se debe buscar mantener una concentración del agente anestésico al final de la espiración a un MAC de 0.8 o más para evitar el despertar transoperatorio (Cuadro III)<sup>(3)</sup>.

A diferencia de la anestesia con los flujos altos, los cambios en la concentración del gas anestésico en los flujos bajos no se pueden lograr con un ligero cambio en el dial, por lo que para ajustar la concentración en el sitio efecto se requiere principalmente de tiempo<sup>(3)</sup>.

Sin embargo, pudiese ser necesario el uso de un pequeño bolo inhalado, mismo que se recomienda que se administre mediante un incremento en el flujo y un incremento en el vaporizador de 2 a 3 MAC, bajo observación de la Fiaa y Etaa<sup>(3)</sup>. Un bolo inhalado se administra al poner el vaporizador a 3 MAC y al incrementar el flujo de gas fresco a 4 L/min por 30 segundos. Posteriormente regresar el gas fresco a flujos bajos pero manteniendo el vaporizador a 25% más que el previamente establecido<sup>(3)</sup>.

El objetivo se traduciría en incrementar la Etaa a intervalos de 0.3 MAC<sup>(3)</sup>.

### MANEJO DE LOS FLUJOS DURANTE LA EMERSIÓN

Durante la emersión el objetivo principal consiste en remover los gases anestésicos inhalados del paciente; los sistemas actuales hacen imposible evitar la contaminación ambiental; sin embargo, la forma en que se manejan los flujos pueden reducir el impacto ambiental<sup>(7)</sup>.

Es difícil mostrar una técnica específica de cómo manejar los flujos de gas fresco<sup>(7)</sup>. Sin embargo, habrá menos contaminación si uno puede manejar la emersión al mantener los flujos bajos hasta que el vaporizador se cierre totalmente<sup>(7)</sup>.

Es importante recordar durante la emersión que en un circuito cerrado el tiempo constante para la eliminación del gas a 0.2 L/min es cerca de 30 minutos, por lo que el vaporizador puede ser cerrado de 15 a 20 minutos antes del final de la cirugía, manteniendo así concentraciones alveolares adecuadas<sup>(3)</sup>.

### USO DE DESFLURANO CON FLUJOS BAJOS

El desflurano presenta la solubilidad gas/sangre más baja (0.42), lo cual permite que la concentración alveolar del

#### Cuadro III. Ajustando la concentración en el sitio-efecto en la profundidad anestésica<sup>(3)</sup>

Bolos o «sobrepresión»: ráfagas de incremento del flujo de gas fresco y concentración del dial de 2 a 3 MAC (ejemplo 30 segundos)

Incrementar Fiaa

Incrementar la velocidad en el Etaa

Incrementar la velocidad para elevar la concentración del sitio-efecto Ce

Incrementar la profundidad anestésica

anestésico permanezca lo más cercano a la concentración inspirada, permitiendo así un cambio rápido y grande, con un control preciso, en la profundidad anestésica y en la emersión temprana<sup>(9)</sup>.

El tiempo de equilibrio  $Ke_0$  refleja el coeficiente de partición sangre-gas y sangre-cerebro, el cual depende de la solubilidad; un alto  $Ke_0$  indica un equilibrio más rápido del vaporizador al  $C_{eff}$ . El desflurano presenta valores más altos de  $Ke_0$  que del sevoflurano o isoflurano<sup>(3)</sup>. Esto significa que un incremento o decremento en el  $E_{taa}$  usando desflurano resulta en cambios más rápidos en la profundidad de la anestesia<sup>(3)</sup>.

El riesgo elevado de producir elevaciones de monóxido de carbono con el uso de desflurano se debe a una deshidratación del absorbente o a la presencia de absorbentes con niveles altos de álcalis fuertes. Actualmente la mayoría de los absorbentes modernos carecen de esta formulación.

En la población obesa se ha demostrado una emersión más rápida y predecible con un lavado más rápido en comparación con sevoflurano<sup>(9)</sup>.

## REFERENCIAS

1. Mychaskiw G. Low and minimal flow anesthesia. Angels dancing on the point of a needle. *J Anaesthesiol Clin Pharmacy*. 2012;28:423-425.
2. Baxter AD. Low and minimal flow inhalation anesthesia. *Can J Anaesth*. 1997;44:643-652.
3. Brattwall M, Warrén-Stomberg M, Hesselvik F, Jacobson J. Brief review: theory and practice of minimal fresh gas flow anesthesia. *Can J Anaesth*. 2012;59:785-797.
4. Baker AB. Low flow and closed circuits (editorial). *Anaesth Intensive Care*. 1994;22:341-342.
5. Simionescu R. Safety of low flow anaesthesia. *Circular*. 1986;3:7-9.
6. Ishizawa Y. General anesthetic gases and the global environment. *Anesth Analg*. 2011;112:213-217.
7. Feldman JM. Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesth Analg*. 2012;114:1093-1101.
8. Ryu HG, Lee JH, Lee KK, et al. The effect of low fresh gas flow rate on sevoflurane consumption. *Korean J Anesthesiol*. 2011;60:75-77.
9. Kapoor MC, Vakamudi M, Desflurane revisited. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2012;28:92-100.