



REVISTA BRASILEIRA DE ANESTESIOLOGIA

Publicación Oficial de la Sociedade Brasileira de Anestesiologia
www.sba.com.br



ARTÍCULO CIENTÍFICO

Rendimiento de los concentradores de oxígeno con óxido nitroso a un volumen de 50:50

Jorge Ronaldo Moll^a, Joaquim Edson Vieira^{b,*}, Judymara Lauzi Gozzani^c
y Lígia Andrade Silva Telles Mathias^c

^a Hospital Geral de Bonsucesso del Ministerio de la Sanidad, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^b Departamento de Cirugía, Facultad de Medicina, Universidad de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

^c Facultad de Ciencias Médicas de la Santa Casa de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Recibido el 18 de marzo de 2013; aceptado el 10 de junio de 2013

Disponible en Internet el 27 de mayo de 2014

PALABRAS CLAVE

Oxigenoterapia;
Óxido nitroso;
Equipos y suministros;
Anestesia;
Inhalación;
Países en desarrollo

Resumen

Justificación y objetivos: pocas investigaciones han abordado la seguridad del oxígeno a partir de concentradores para su uso en anestesia en asociación con el óxido nitroso. Este estudio evaluó el porcentaje de oxígeno de un concentrador en asociación con el óxido nitroso en un circuito de reinhalación semicerrado.

Métodos: pacientes adultos sometidos a cirugía de bajo riesgo fueron asignados aleatoriamente en 2 grupos, para recibir un flujo de gases frescos de concentradores de oxígeno (O293) o de concentradores de oxígeno y óxido nitroso (O293NO). La fracción inspirada de oxígeno y el porcentaje del flujo de gases frescos de oxígeno fueron medidos cada 10 min. La relación concentración liberada de FiO₂/oxígeno fue comparada en diferentes intervalos de tiempo y entre los grupos.

Resultados: treinta pacientes fueron evaluados en cada grupo. No hubo diferencia en el oxígeno de los concentradores a lo largo del tiempo para ambos grupos, pero sí hubo una mejoría significativa en la FiO₂ (p < 0,001) en el grupo O293, mientras que hubo una caída significativa (p < 0,001) en el grupo O293NO. La relación FiO₂/oxígeno varió en ambos grupos, alcanzando una meseta en el grupo O293. La oximetría de pulso no descendió por debajo del 98,5% en ningún grupo.

Conclusión: la FiO₂ en la mezcla de O293 y óxido nitroso cayó durante el período de observación, aunque la saturación de oxígeno quedó por encima de un 98,5% durante todo el estudio. Los concentradores pueden ser considerados una fuente estable de oxígeno para uso durante procedimientos anestésicos de corta duración, tanto puro como en asociación con el óxido nitroso en volumen de 50:50.

© 2013 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: joaquimev@usp.br (J.E. Vieira).

Introducción

El alto precio del oxígeno puede incentivar la instalación de concentradores de oxígeno^{1,2}. En Brasil, una investigación anterior mostró que la economía relacionada con el uso de un concentrador durante 10 años en un hospital sin fines de lucro llegó a 19,5 millones de dólares³. El oxígeno de concentradores representa un coste de EUA \$ 0,0015 mL⁻¹. Merece la pena resaltar que la oferta de ese sistema como una fuente de oxígeno estableció una competencia perfecta en ese mercado en Brasil y redujo su precio final en todo el país.

Algunos estudios usando concentradores de oxígeno con sistemas de ventilación abiertos concluyeron que la eficacia y la confiabilidad de tales dispositivos los hacen ser una alternativa adecuada a las bombonas de oxígeno en los países en desarrollo⁴⁻⁶. Los concentradores de oxígeno usan la tecnología del tamiz molecular de zeolita, que puede producir hasta un 95% de oxígeno puro. Resumidamente, el aire ambiente es atraído hacia el concentrador de oxígeno a través de una serie de filtros para remover el polvo y las bacterias. El concentrador contiene 2 columnas de tamices moleculares de zeolita dentro de un recipiente. El tamiz absorbe el nitrógeno a partir del aire cuando este está forzado a cruzarlo bajo presión. El tamiz permite el paso de oxígeno conjuntamente con el argón al 0,93% presente en el aire. La zeolita sintética se usa para la producción de oxígeno. El concentrador mostró ser confiable y coste efectivo para suministrar oxígeno en locales donde las bombonas no siempre pueden estar disponibles⁷. Sin embargo, poco se sabe sobre la asociación del oxígeno de los concentradores con el óxido nitroso durante la ventilación mecánica en anestesia.

Este estudio evaluó el porcentaje de oxígeno a partir de un concentrador en asociación con óxido nitroso para los procedimientos que duran por lo menos 100 min en un circuito semicerrado de reinhalación.

Métodos

Después de la aprobación por parte del Comité de Ética en Investigación del *Hospital Geral de Bonsucesso* del Ministerio de la Sanidad, Rio de Janeiro, se invitó a participar a pacientes adultos sometidos a cirugía de bajo riesgo. Firmaron el consentimiento informado y fueron asignados aleatoriamente a 2 grupos para recibir un flujo de gases frescos (FGF) de 1.000 mL/min⁻¹ de oxígeno del concentrador (O293) o un FGF de 500 mL/min⁻¹ de oxígeno del concentrador más 500 mL/min⁻¹ de óxido nitroso (O293NO). El único criterio de exclusión fue la presencia de cualquier enfermedad pulmonar. El oxígeno usado en esta investigación lo suministró el concentrador de oxígeno ligado a sistemas de tuberías de gases medicinales, proporcionando una presión de salida de 4,08-5,09 kg/cm⁻² (Eniplan Ferri-Engenheiros Associados Ferri Lt., modelo COE 2x20, Rio Grande do Sul, Brasil). El óxido nitroso fue suministrado a partir del sistema de tuberías proveniente de reservorios normales.

Los pacientes respiraron con máscara de oxígeno del concentrador a un flujo de 8 L/min⁻¹ durante 3 min en un circuito semicerrado de reinhalación. Después de ese período, se aplicó la anestesia con la administración

intravenosa secuencial de fentanilo (5 mcg/kg⁻¹), propofol (1,5 mg/kg⁻¹) y atracurio (0,5 mg/kg⁻¹). Después de la intubación traqueal, se usó un sistema de ventilación mecánica controlada con un absorbedor de CO₂ fue usado para suministrar un volumen corriente suficiente para mantener el CO₂ espirado entre 30 y 35 mmHg. El mantenimiento de la anestesia se obtuvo con isoflurano y FGF de 1 L/min⁻¹. Una válvula de flujo lateral (CardioCap5-GE Datex-Ohmeda Helsinki, Finlandia) entre la válvula unidireccional inspiratoria y la parte-Y para conectar con el paciente permitió que las fracciones inspiradas y espiradas de anestésicos volátiles, dióxido de carbono (ETCO₂), oxígeno (FiO₂) y óxido nitroso (FiN₂O) fuesen monitorizadas, y otra válvula de flujo lateral (Capnomac-GE Datex Ohmeda-Helsinki, Finlandia), localizada en la puerta de liberación, a través de la cual los gases se liberan de la máquina hacia los sistemas, monitorizó el porcentaje de oxígeno liberado a partir del concentrador por análisis paramagnético del oxígeno. Las muestras derivadas a partir de esas válvulas de flujo lateral se dividieron ventiladas hacia la atmosfera (fig. 1). Se esperaba que las mediciones de las concentraciones de oxígeno en ambos grupos alcanzasen la estabilidad, considerando que el consumo de oxígeno fuese de por lo menos 200 mL/min⁻¹ durante todo el período intraoperatorio.

Las variables estudiadas fueron la concentración de oxígeno inspirado y también la fracción inspirada de oxígeno medida cada 10 min después de la intubación hasta el final de la anestesia. La presión arterial, frecuencia cardíaca y los valores de la oximetría de pulso se obtuvieron al inicio de la anestesia y cada 10 min hasta el final del procedimiento. La relación FiO₂/concentración de oxígeno liberado por el concentrador (O293) fue comparada en intervalos de tiempo entre los grupos. Los resultados fueron expresados como mediana y 25-75 percentiles, o media y desviación estándar cuando se obtuvo la normalidad. El análisis de variancia para medidas repetidas fue usado para comparar los datos de los diferentes intervalos de tiempo entre los grupos. El test-*t* de Student se usó para comparar la edad, el peso, la altura y el índice de masa corporal. El test de la Xi-Cuadrado (χ^2) fue usado para comparar las proporciones de sexo. La hipótesis consideró una investigación anterior con concentrador de oxígeno como la única fuente y en la cual la diferencia en el promedio de la FiO₂ fue considerada la diferencia objeto, y el uso de un nomograma para calcular el tamaño de la muestra indicó una muestra de 25-30 pacientes^{3,7}. Todas las comparaciones fueron consideradas estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$. Se usó el paquete estadístico Sigma Stat for Windows, versión 2.03, SPSS Inc.

Resultados

Sesenta pacientes de ambos sexos conformaron la muestra, con 30 pacientes en cada grupo, incluyendo estado físico ASA I y II. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre los 2 grupos en cuanto al sexo, edad, peso, altura e índice de masa corporal (tabla 1).

La media de los valores y de las desviaciones estándar de la concentración de oxígeno liberado y el porcentaje de oxígeno inspirado fueron registradas para los 2 grupos (fig. 2). No hubo diferencia en la concentración de oxígeno liberado a partir de concentrador a lo largo del tiempo (medidas

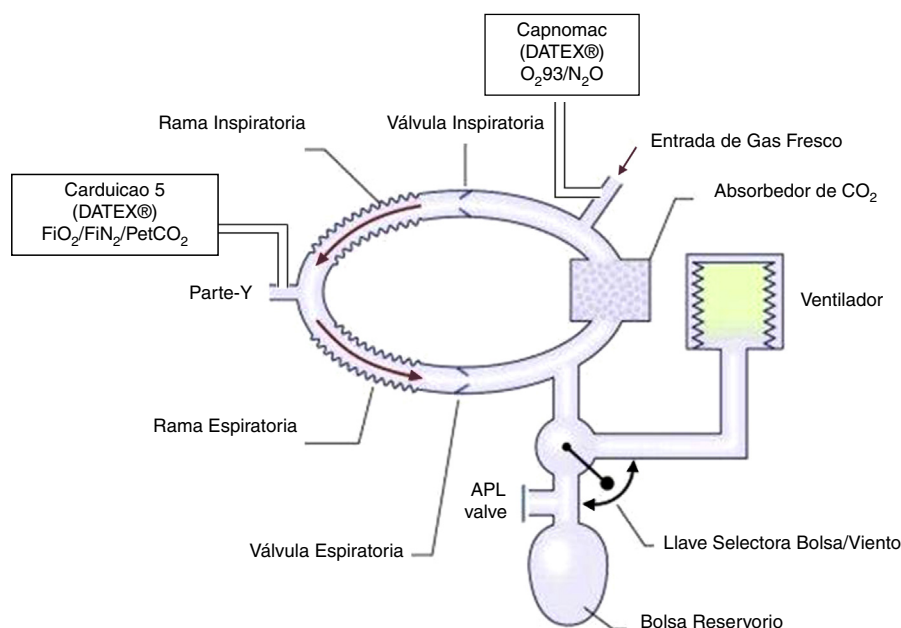


Figura 1 Monitorización de los gases en el sistema respiratorio. Sitios para la monitorización de los gases: el CardioCap5 midió las fracciones de anestésicos volátiles, dióxido de carbono (ETCO₂), oxígeno (FiO₂) y óxido nitroso (FiN₂O) y el Capnomac midió los gases suministrados por la máquina a los sistemas. Las muestras derivadas de esas válvulas de flujo lateral fueron ventiladas hacia la atmósfera.

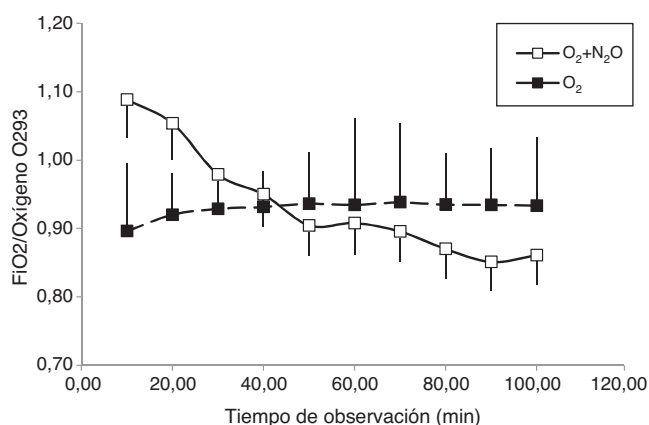


Figura 2 Proporción FiO₂/O₂ a lo largo del tiempo, del O293 o en asociación con óxido nitroso.

repetidas de Friedman ANOVA, $p=0,084$). Hubo una mejoría significativa de la FiO₂ ($p<0,001$), que fue menor a los 10 min en comparación con los 40 min, y posteriormente a los 20 min en comparación con 50 min, y posteriormente

(test de Tukey, $p<0,05$). Tampoco hubo diferencia en la concentración de oxígeno liberado a lo largo del tiempo para el flujo de oxígeno fresco del concentrador en el grupo que recibió oxígeno y óxido nitroso ($p=0,153$). Sin embargo, la FiO₂ mostró un descenso significativo de un 52% a los 10 min al 40% al final de la anestesia ($p<0,001$). No hubo diferencia en el intervalo de 10 a 40 min, pero sí desde los 50 a los 100 min; todos los valores registrados de 10 a 40 min fueron significativamente diferentes (Tukey, $p<0,05$).

Esas mediciones se reflejan en la proporción de la FiO₂ y flujo fresco de oxígeno (FiO₂/flujo de oxígeno) en ambos grupos. En el grupo que recibió oxígeno del concentrador (O293) la proporción mejoró con el tiempo ($p<0,001$). En el grupo que recibió oxígeno y óxido nitroso, la proporción de la FiO₂/flujo de oxígeno disminuyó con el tiempo ($p<0,001$). Los percentiles de los anestésicos inhalatorios se mantuvieron según el criterio del anestesiólogo y el CO₂ espirado se mantuvo dentro de los márgenes esperados: $32,47 \pm 1,59$ mmHg en el grupo O293, y $32,63 \pm 1,69$ mmHg en el grupo O293NO.

La oximetría de pulso fue menor antes de la inducción de la anestesia y los valores fueron diferentes entre los grupos ($97,7 \pm 1,2$ vs. $99,1 \pm 0,5$ para O293NO y O293, respectivamente; $p<0,001$, t de Student). Después de la inducción, la saturación de hemoglobina no cayó por debajo de 98,5% en ambos grupos.

Discusión

Este estudio mostró que la FiO₂ en la mezcla de O293 y el N₂O cayeron del 52% al 41% durante el período de observación. La saturación de oxígeno fue superior al 98,5% durante todo el estudio y la proporción de oxígeno liberado e inspirado quedó estable a lo largo del tiempo, pero fue inferior a uno.

Tabla 1 Características de los pacientes

	O293 Medio \pm DE	O293NO Medio \pm DE
Edad (años)	39,5 \pm 18,3	32,9 \pm 13,7
Peso (kg)	67,5 \pm 12,9	70,2 \pm 14,6
Altura (m)	1,67 \pm 0,07	1,70 \pm 0,09
IMC (kg/cm ²)	23,45 \pm 3,71	24,16 \pm 3,74
Sexo (M/F)	16/14	16/14

Esta investigación confirma la estabilidad de la saturación de oxígeno relatada en estudios anteriores que usaron oxígeno a partir de concentradores en un circuito de anestesia con un absorbedor de dióxido de carbono y un FGF de 500 mL/min^{8,9}. Aunque un flujo de oxígeno fresco de hasta 0,5 L/min⁻¹ pueda resultar en una acumulación significativa de argón en comparación con los flujos mayores de oxígeno de 1 y 2 L/min¹⁰, este estudio muestra que tanto la FiO₂ como la saturación de hemoglobina quedan estables con el tiempo cuando se usa un flujo de oxígeno igual o superior a 0,5 L/min⁻¹ durante la anestesia general en adultos sanos en un sistema de circuito semicerrado de reinhalación.

La asociación de oxígeno a partir de un concentrador y de óxido nitroso fue previamente estudiada con FGF bajos, evidenciándose que la fracción del gas argón era pequeña y propensa a caer entre 60 y 120 min, pero la concentración de óxido nitroso aumentaba¹⁰. Una mezcla compuesta por un 33% de oxígeno podría amenazar la concentración final debido a la acumulación de argón⁸. Una concentración ajustada de oxígeno inspiratorio del 35-70% en un flujo de gases frescos tan bajo como 0,5 L/min⁻¹ no presentó complicaciones y puede ser considerada segura y sin riesgos de hipoxia, en sistemas de reinhalación y circuitos cerrados, de acuerdo con las mediciones de la concentración de oxígeno en el gas inspirado¹¹. Como ya se ha destacado, si el oxígeno usado como gas fresco proviene de concentradores de oxígeno, la concentración de argón puede aumentar hasta un 2%. El argón es inerte y no tiene ningún efecto tóxico sobre otros gases; por ejemplo, oxígeno y otros agentes inhalatorios potentes¹².

En el presente estudio, el uso de un 50% de oxígeno a partir de un concentrador propició la caída de la FiO₂ de un 52% a un 41%, aunque la proporción de oxígeno liberado e inspirado haya alcanzado una meseta. La absorción de óxido nitroso por el paciente fue inicialmente elevada pero se redujo con el tiempo, lo que significa que habrá una preponderancia de óxido nitroso sobre el oxígeno en el gas que permanece en el sistema respiratorio después de la captación del gas por el paciente. Ese gas será expulsado hacia afuera del circuito, pero la concentración de oxígeno en el sistema caerá hacia la fracción de oxígeno remanente después de la captación del gas. El N₂O alteró el oxígeno final ofrecido al sistema respiratorio, porque el porcentaje de oxígeno del concentrador no cayó en ningún momento en ninguno de los grupos.

Como contraste, el uso exclusivo de oxígeno de un concentrador causó el aumento de la FiO₂, con una proporción estable de oxígeno liberado e inspirado. Ese comportamiento es el resultado del nitrógeno que fue introducido en el sistema respiratorio por el paciente a partir de los volúmenes disueltos en los músculos y en la grasa, que salen de la solución durante la hora posterior a la intubación. Esa tasa de excreción de nitrógeno disminuyó con el tiempo y esa puede ser la razón por la cual la FiO₂ aumentó en el grupo oxígeno puro.

Esos resultados pueden añadir a la literatura datos como que los concentradores de oxígeno son coste beneficio efectivos, son confiables y convenientes para el suministro de oxígeno, especialmente en regiones subdesarrolladas y con presupuestos bajos¹³, presentando resultados que sugieren que el oxígeno a partir del concentrador proporciona un FGF estable cuando se añade al óxido nitroso en volúmenes de

50:50. Las bombonas de oxígeno presurizado son caras al incluir el coste de transporte, mientras que los concentradores de oxígeno debidamente mantenidos pueden suministrar una solución de bajo coste altamente eficaz y fácil de usar para los servicios de sanidad de los países en desarrollo. La rentabilización de la inversión puede obtenerse en uno a 2 años¹⁴. Al describir una práctica moderna de conducta, el departamento de anestesia de un hospital de un país necesitado ha establecido como norma el uso del concentrador de oxígeno para reducir los costes con el oxígeno¹⁵.

El uso de óxido nitroso continúa siendo una fuente de controversias en anestesia. En el estudio Evaluation of Nitrous oxide In a Gas Mixture for Anaesthesia (ENIGMA), que evaluó el óxido nitroso en una mezcla de gases para la anestesia, los autores relataron que el uso de óxido nitroso aumenta las complicaciones postoperatorias y que puede contribuir a la disfunción cognitiva en jóvenes y ancianos. Sin embargo, las evidencias actuales que sustentan una prohibición más difundida en la práctica clínica no son convincentes^{16,17}. Las casualidades relacionadas con el óxido nitroso en anestesia son raras, pero generalmente conllevan procesos judiciales, y casi siempre atraen mucho la atención de los medios de comunicación¹⁸. Así, Suecia terminó con el uso del óxido nitroso sin insatisfacción por parte de los anestesiólogos y tampoco hubo ningún aumento en el uso de otros agentes anestésicos, como se esperaba¹⁹. Sin embargo, un extenso estudio reciente de cirugías no cardíacas muestra que el uso de ese gas en el intraoperatorio estuvo asociado con la reducción de la probabilidad de mortalidad en 30 días y de la morbimortalidad intrahospitalaria²⁰.

Los concentradores de oxígeno suministran una fuente consistente y menos costosa de oxígeno en las unidades de salud en donde las fuentes de energía son confiables. La amenaza de una mezcla hipóxica como resultado de la acumulación de argón debe ser protegida contra el uso de un analizador de oxígeno en el circuito de gas inspirado, como también de un oxímetro de pulso.

La FiO₂ en la mezcla de O293 y óxido nitroso se redujo durante el período de observación, aunque la saturación de oxígeno haya sido superior al 98,5% durante todo el estudio. Los concentradores pueden ser considerados como una fuente estable de oxígeno para uso durante procedimientos anestésicos de corta duración, sea puro o en asociación con óxido nitroso en volúmenes de 50:50.

Autoría

Jorge Ronaldo Moll proyectó el estudio, realizó la recopilación y el análisis de los datos, elaboró y revisó el manuscrito

Joachim Edson Vieira revisó y analizó los datos y elaboró el manuscrito

Judymara Lauzi Gozzani proyectó el estudio y preparó el manuscrito

Lígia Andrade Silva Telles Mathias proyectó el estudio, elaboró y revisó el manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Friesen RM, Raber MB, Reimer DH. Oxygen concentrators: a primary oxygen supply source. *Can J Anaesth.* 1999;46:1185–90.
2. Arrowsmith LW. Oxygen concentrators for medical gas pipeline systems. *J Inst Hosp Eng.* 1989;43:6–8.
3. Moll JR, Moll AVS, Guttman A, et al. Usinas concentradoras de oxigênio: evolução da fração inspirada de oxigênio e repercussões no paciente anestesiado em sistema com absorvedor de CO₂. Estudo piloto. *Rev Bras Anesthesiol.* 2007;57:649–57. Portuguese.
4. Carter JA, Baskett PFJ, Simpson PJ. The «PermoX» oxygen concentrator. Its mode of action, performance and potential application. *Anaesthesia.* 1985;40:560–5.
5. Fenton PM. The Malawi anaesthetic machine. Experience with a new type of anaesthetic apparatus for developing countries. *Anaesthesia.* 1989;44:498–503.
6. Shrestha BM, Singh BB, Gautam MP, et al. The oxygen concentrator is a suitable alternative to oxygen cylinders in Nepal. *Can J Anaesth.* 2002;49:8–12.
7. Whitley E, Ball J. Statistics review 3: sample size calculation. *Crit Care.* 2002;6:335–41.
8. Parker CJ, Snowdon SL. Predicted and measured oxygen concentrations in the circle system using low fresh gas flows with oxygen supplied by an oxygen concentrator. *Br J Anaesth.* 1988;61:397–402.
9. Friesen RM. Oxygen concentrators and the practice of anaesthesia. *Can J Anaesth.* 1992;39:R80–9.
10. Grano JT, Roberts AL, Bigley AJ. Determination of the minimal fresh gas flow to maintain a therapeutic inspired oxygen concentration in a semi closed anesthesia circle system using an oxygen concentrator as the oxygen source. Technical Report. Houston: Texas Univ. Health Science Center at Houston. School of Nursing; 2001. HSC-SN-00-022, Disponible en: <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA426737>
11. Rathgeber J, Züchner K, Kietzmann D, et al. Efficiency of a mobile oxygen concentrator for mechanical ventilation in anaesthesia. Studies with a metabolic lung model and early clinical results. *Anaesthesist.* 1995;44:643–50.
12. Brattwall M, Warrén-Stomberg M, Hesselvik F, et al. Brief review: theory and practice of minimal fresh gas flow anaesthesia. *Can J Anaesth.* 2012;59:785–97.
13. Mokuolu OA, Ajayi OA. Use of an oxygen concentrator in a Nigerian neonatal unit: economic implications and reliability. *Ann Trop Paediatr.* 2002;22:209–12.
14. L'Her P, Tchoua R, Hutin R, et al. The problem of oxygen in developing countries. *Med Trop (Mars).* 2006;66:631–8.
15. Shankar KB, Moseley HS, Mushlin PS, et al. Anaesthesia in Barbados. *Can J Anaesth.* 1997;44:559–68.
16. Sanders RD, Weimann J, Maze M. Biologic effects of nitrous oxide: a mechanistic and toxicologic review. *Anesthesiology.* 2008;109:707–22.
17. Myles PS, Leslie K, Chan MT, et al. Avoidance of nitrous oxide for patients undergoing major surgery: a randomized controlled trial. *Anesthesiology.* 2007;107:221–31.
18. Herff H, Paal P, von Goedecke A, et al. Fatal errors in nitrous oxide delivery. *Anaesthesia.* 2007;62:1202–6.
19. Enlund M, Edmark L, Revenäs B. Ceasing routine use of nitrous oxide—a follow up. *Br J Anaesth.* 2003;90:686–8.
20. Turan A, Mascha EJ, You J, et al. The association between nitrous oxide and postoperative mortality and morbidity after noncardiac surgery. *Anesth Analg.* 2013;116:1026–33.