

Detección de embolismo aéreo mediante ecocardiografía trans-esofágica en procedimientos neuroquirúrgicos

Myr. M.C. Francisco Alejandro López Jiménez*

Hospital Central Militar. Ciudad de México

RESUMEN. El embolismo aéreo venoso (EAV) es una complicación frecuente en cirugía, que puede presentarse en cualquier caso que sea abierta una vena. Produce severos cambios hemodinámicos e incluso puede producir la muerte. En forma concreta, la neurocirugía propicia el EAV en vista de que mecánicamente se favorece por circunstancias tales como: elevados gradientes gravitacionales, PVC baja y posiciones extremas como la de sentado o la de Trendelenburg invertida. En este estudio, con el objeto de detectar oportunamente EAV, se monitorizaron 37 pacientes en el transoperatorio mediante ecocardiografía trans-esofágica durante su acto neuroquirúrgico, además del monitoreo habitual como presión arterial, PVC, electrocardiograma, capnografía y oximetría de pulso. Se presentaron 41 episodios de EAV en 21 de los 37 pacientes (56.7%), sin embargo sólo 12 tuvieron cambios en la capnografía y sólo 3 de los 21 (14.2%) tuvieron cambios hemodinámicos. Se concluye que el diagnóstico oportuno de esta contingencia permitió en todos los casos aplicar tempranamente el tratamiento indicado.

Palabras clave: embolismo aéreo venoso, ecocardiografía trans-esofágica, presión venosa central.

En los procedimientos neuroquirúrgicos como en cualquier acto operatorio cuando ocurre la abertura del sistema venoso, cuya tensión es inferior a la presión atmosférica, se favorece por simple gradiente la entrada de aire al torrente sanguíneo.

Dependiendo del volumen de aire aspirado se ha considerado al embolismo aéreo (EA) como una complicación transoperatoria que puede ser mortal cuando es masiva, ya que generalmente evoluciona con trastornos importantes del ritmo cardíaco, de la presión arterial, insuficiencia cardíaca, edema agudo del pulmón y paro cardiorrespiratorio.¹

Atañe vital importancia la vigilancia del paciente durante todo el periodo perioperatorio, siendo relevante la

SUMMARY. Venous air embolism (VAE) is a possible complication that can appear in any kind of surgery whenever a vein is open. Severe hemodynamic changes can occur, even producing risk of death. Unfortunately, neurosurgical techniques enhance those risks as a result of a variety of factors, such as: high gravitational gradients, low CTP and extreme positions as sitting or inverted Trendelenburg. A series of 37 patients were transoperatively recorded by trans-esophageal echocardiography while neurosurgery was in progress in order to determine VAE. Standard transoperative monitoring was employed as well, as CVP, BP, ECG, capnography and pulseoximetry. A whole 41 cases of VAE occurred, in 21 out of the 37 patients (56.7%), however only 12 produced changes in capnography. Hemodynamic changes occurred in only 3 out of the 21 cases (14.2%). Immediate diagnosis of VAE allowed early proper treatment of such complication.

Key words: venous air embolism, trans-esophageal echocardiography, central venous pressure.

ecocardiografía bidimensional por permitir detectar inmediatamente la presencia de aire en las cavidades derechas del corazón y así decidir oportunamente medidas eficaces para evitar la entrada de aire y minimizar el consecuente daño neurocardiopulmonar. No se ha encontrado algún sistema orgánico indemne al EA y se han informado casos durante las operaciones quirúrgicas de cabeza y cuello, obstétricas, ginecológicas, de biopsia de órganos, craneofaciales, neuroquirúrgicas, abdominales, urológicas, cardiorrespiratorias, ortopédicas, de la cavidad bucal y procedimientos endoscópicos.^{2,3}

Ha ocurrido también embolia aérea durante ciertos procedimientos médicos como colocación de catéteres venosos periféricos y centrales, o después de las inyecciones diagnósticas y terapéuticas de aire y tras la inserción de catéteres peridurales. Este trabajo se dedica a la embolia aérea en el ambiente quirúrgico y su detección con ecocardiografía transoperatoria.

Se diseña el presente estudio para determinar la incidencia del embolismo aéreo venoso y valorar la sensibilidad de la ecocardiografía transesofágica para detectar este suceso.

* Adscrito al Depto. de Anestesiología .
Hospital Central Militar.

Correspondencia:
Myr. M.C. Francisco Alejandro López Jiménez
Depto. de Anestesiología. Hospital Central Militar.
Periférico esquina Ejército Nacional.
Lomas de Sotelo C.P. 11650 México, D.F.

Antecedentes

Desde 1667 Francisco Redi observó que los animales morían con rapidez cuando se les abría una vena y se les soplaban aire en su interior, es en el siglo XIX cuando se describen cientos de casos clínicos de embolismo aéreo venoso, además de describirse varios modelos animales para explicarse la fisiopatología del fenómeno. En 1818, Bauchene reporta la primera defunción humana durante la resección de un tumor del hombro derecho; Magendi aclaró la fisiopatología, aconsejó la aspiración del aire por una cánula colocada en la aurícula derecha y describió el soplo en rueda de molino, posteriormente J.C. Warren (profesor de anatomía y cirugía en Harvard), informó de dos casos de EA con una defunción en el Massachusetts General Hospital (1832). La obra que culmina con todas las observaciones y experimentaciones es quizá el tratado publicado en 1885 por Senn "An Experimental Study of Air Embolism", volumen de 116 páginas en los que se describe fisiopatología, ruidos cardíacos y tratamiento. Amussat y Senn describieron por completo los cambios de los tonos cardíacos que se conocen en la actualidad de manera global como soplo en rueda de molino y caracterizaron cianosis, respiración entrecortada y colapso cardiovascular, que son los signos clínicos principales de la embolia venosa de aire.¹¹

Fisiopatología. El aire entra en la circulación venosa en todos los casos en que se produce un gradiente entre la aurícula derecha y la parte alta de la incisión, llamado GRADIENTE GRAVITACIONAL. Se ha demostrado que un gradiente de tan solo 5 cm permite la entrada de 100 ml de aire a través de una aguja calibre 14 en un lapso de un segundo. Incrementar la elevación de una vena abierta en el cráneo y aumentar la distancia a la aurícula derecha al colocar al paciente en posición sentada o elevar simplemente la cabeza, tiende a aumentar este gradiente y, por tanto, el riesgo de embolismo venoso.

La presencia de aire en el sistema cardiopulmonar ejerce efectos importantes que incluyen aumento en la presión de la arteria pulmonar, disminución del gasto cardíaco, hipotensión sistémica, aumento de la ventilación del espacio muerto y cortocircuito de sangre en la circulación pulmonar que da lugar a hipoxemia, edema pulmonar y embolia sistémica. Durante entradas continuas lentas de aire, éste se disipa dentro de la circulación pulmonar, lo que produce vasoconstricción simpática refleja por obstrucción mecánica de arteriolas mediante pequeñas burbujas o por hipoxemia local.

Esto, en conjunto con el colapso de pequeñas vías respiratorias, aumenta la presión arterial pulmonar. La derivación de sangre que la aleja de las áreas de embolias gaseosas puede exacerbar más la desproporción entre ventilación y perfusión y reducir el intercambio gaseoso; el resultado es hipoxemia, retención de CO₂ con aumento de la PaCO₂, más incremento del espacio muerto pulmonar y disminución del PETCO₂. El gasto cardíaco se abate por disminución del retorno venoso, insuficiencia cardíaca derecha debida a hipertensión pulmonar o, con menor frecuencia por obstrucción mecánica de la salida de sangre del pulmón por espuma de burbujas. La inyección rápida de gas en bolo en cantidades que exceden la capacidad de la arteria pulmonar (5 ml/kg) puede

dar lugar a bloqueo por aire en el lado derecho del corazón. La salida de sangre del ventrículo derecho está bloqueada por la espuma que producen las burbujas y de esa manera se impide el retorno venoso, se reduce la efectividad de acción de bomba del ventrículo, disminuye el gasto cardíaco, se produce dilatación e insuficiencia ventricular derecha, edema pulmonar, hipotensión sistémica y colapso cardiopulmonar.

Cuando las burbujas microvasculares se entremezclan con la sangre y con las proteínas del endotelio vascular, activan la liberación de mediadores endoteliales, se activa el complemento y se liberan citocinas, lo que da lugar a la agregación de neutrófilos, mayor cantidad de émbolos microvasculares y producción de radicales libres de oxígeno que dañan al endotelio. Puede presentarse isquemia miocárdica, arritmias e isquemia cerebral debido a hipoxemia intensa, hipotensión o embolias gaseosas paradójicas por la presencia de un foramen oval permeable.⁴

La morbilidad y mortalidad guardan relación directa con la cantidad y velocidad de entrada de aire. Se desconoce la dosis sintomática, pero es menor de 50 ml. La dosis letal es mayor de 100 ml.

Los factores que contribuyen a la mayor frecuencia y gravedad de las embolias gaseosas incluyen sitio quirúrgico, grado de elevación de la cabeza y el gradiente gravitacional.

Incidencia. No se cuentan con datos consistentes sobre la incidencia global de este problema. La frecuencia comunicada depende del método de detección que se empleó y varía entre 1.6 y 6% si sólo se utilizan los monitores de rutina (oxímetro de pulso, EKG, presión arterial), y de 42 hasta 85% si se utiliza ultrasonografía Doppler. La frecuencia promedio es de 41 a 45% en pacientes a quienes se les practica craneotomía de fosa posterior en posición sentada y de 11 a 24% en pacientes a quienes se les realiza cirugía en columna cervical. La embolia venosa se presenta en 10% de las intervenciones neuroquirúrgicas realizadas en posición prona.

Monitorización. La monitorización puede realizarse con muchos medios entre los cuales se encuentra la ultrasonografía Doppler precordial, un catéter en la aurícula derecha, capnografía o espectrometría de masas, estetoscopio precordial, oximetría de pulso y la ecocardiografía transesofágica. Los métodos más sensibles son la ETE., y la ultrasonografía Doppler, seguidos por el nitrógeno y CO₂ espirados, el catéter en la aurícula derecha y el menos sensible el estetoscopio esofágico o precordial.⁵

Las implicaciones familiares, económicas, laborales y sociales, además de la morbi-mortalidad de las patologías neuroquirúrgicas, crean la necesidad de mejorar de manera continua las técnicas anestésicas y quirúrgicas, para evitar las complicaciones y mejorar la evolución de estos pacientes.

El estado hemodinámico potencialmente deletéreo que produce el embolismo aéreo exige una detección precoz de esta complicación, por lo que se necesita una monitorización altamente sensible para iniciar el tratamiento oportuno y evitar el daño cardiopulmonar y neurológico.

No existe en la literatura nacional reporte de incidencia y monitorización de embolismo aéreo en procedimientos neuroquirúrgicos mediante el uso de ecocardiografía transesofágica bidimensional.

Pacientes, material y métodos

El estudio se realizó en el quirófano de Neurocirugía del Hospital Central Militar en el periodo comprendido del 1º. de septiembre de 1998 al 30 de abril de 1999; se incluyeron 39 pacientes de ambos sexos con una relación 1.6:1 masculino: femenino, con patología intra y extracranéa que fueron sometidos a tratamiento quirúrgico bajo anestesia general balanceada.

Todos los pacientes se monitorizaron con un catéter central, para registrar presión venosa central de manera continua, línea arterial con registro de la presión arterial sistémica, capnografía, oximetría de pulso, ecocardiografía transesofágica, termometría cutánea y electrocardiografía de superficie; se documentó el gradiente gravitacional en centímetros al inicio de la cirugía, anotándolo cada vez que se modificaba la posición del paciente en el transcurso de la cirugía.

Todos los eventos se señalaron en la hoja de registro anestésico; en cada ocasión que se detectó embolismo venoso mediante ecocardiografía transesofágica, se verificó PVC., gradiente gravitacional, COET, presión arterial, frecuencia cardíaca y saturación de pulso.

De cada cirugía se obtuvo el número de eventos (embolismo aéreo venoso) detectados por ecocardiografía transesofágica (100%) y del total de eventos se formaron dos grupos. El grupo I lo conformaron los eventos que produjeron cambios en la capnografía y oximetría de pulso y el grupo II se constituyó con los eventos de embolismo aéreo que condicionaron cambios en los parámetros hemodinámicos.

A todos los pacientes se les administró anestesia general balanceada, realizándose la inducción con propofol (2 mg/kg), fentanil (5 µg/kg), vecuronio (100 µg/kg), la vía aérea fue asegurada con intubación orotraqueal, mediante laringoscopia directa, posterior a lo cual se colocaba el transductor del ecocardiógrafo transesofágico. El mantenimiento anestésico se consiguió mediante fentanil administrado en bolos de 3 a 5 µg/kg e isoflurano con 1.5 a 2 vol%. Cuando no existió contraindicación los pacientes se extubaron en quirófano y se trasladaron a la unidad de cuidados intensivos para recuperación anestésica y vigilancia neurológica.

Resultados

Número de pacientes: 37.
Femeninos: 23, masculinos: 14.
Edades: 14-82 años.

Patologías:

1. Resección transesfenoidal de adenoma hipofisiario	9
2. Clipaje de aneurisma	5
3. Excéresis de malformación arteriovenosa	4
4. Craneoplastia	4
5. Resección de meningioma	4
6. Resección de glioblastoma	3
7. Cirugía de columna lumbar	2
8. Cirugía de columna cervical	2
9. Hipocampectomía	1

10. Neurinoma del V par	1
11. Neurinoma del VIII par	1
12. Descompresión vascular del V par	1
13. Resección de ependimoma	1
14. Lobectomía frontal	1

Posiciones

Supino	22
Lateral	6
Sentado	5
Prona	4

No. de pacientes con embolismo aéreo

Posición		%
Supina	13	59
Lateral	1	16
Sentado	4	80
Prona	3	75
Total	21	

No. de eventos*

Posición		%
Supina	20	48.7
Sentado	17	41.4
Prona	3	7.3
Lateral	1	2.4
Total	41	100

* Número de veces que se presentó el embolismo aéreo durante un procedimiento quirúrgico.

La incidencia obtenida de embolismo aéreo en procedimientos neuroquirúrgicos en el Hospital Central Militar fue de 56.7%

Relación que se presentó entre la presión venosa central y el embolismo venoso aéreo

PVC*	No. de eventos	%
< 5	26	65.8
5-10	11	26.8
> 10	4	7.3

*Milímetros de mercurio

Relación encontrada entre el gradiente gravitacional y la presentación del embolismo aéreo venoso

Gradiente	No. de eventos	%
0-10 cm	5	12.19
11-20 cm	16	39
> 20 cm	20	48.7

Presión arterial media registrada durante el evento de embolismo aéreo venoso

PAM	No. de eventos	%
50-59	16	39
60-69	13	31.5
> 70	12	29.5

*Milímetros de mercurio

Casos de embolismo aéreo que produjeron cambios gasométricos y hemodinámicos

No. de eventos	Grupo I	Grupo II
41	12	3
%	29.3	7.3

Grupo I. Disminución súbita en el CO₂ tele-espiratorio (5 mm de mercurio) de la basal intraoperatoria.

Grupo II. Disminución de la frecuencia cardíaca y de la tensión arterial (20% de la basal intraoperatoria)

Discusión

Las potencialmente deletéreas consecuencias del embolismo aéreo en los procedimientos quirúrgicos hacen que el anestesiólogo esté constantemente alerta para la detección temprana y tratamiento de dicha complicación. En los procedimientos neuroquirúrgicos coexisten factores que favorecen la entrada de aire al sistema venoso, como son la apertura de lechos venosos no colapsables, gradientes de presión generados por posiciones extremas como la de sentado o Trendelenburg invertido y la hipovolemia consecuencia del uso de diuréticos potentes para mejorar las condiciones operatorias o en la peor de las situaciones, grandes pérdidas sanguíneas, por ejemplo, en cirugías vasculares (aneurismas, malformaciones arteriovenosas) o en la disección de tumores ricamente vascularizados.

Deben utilizarse los dispositivos de vigilancia disponibles que sean más sensibles. En la actualidad en orden creciente de sensibilidad contamos con el estetoscopio esofágico o precordial, la vigilancia de parámetros hemodinámicos (PVC, FC, TA), capnografía, la sonda Doppler y la ecocardiografía transesofágica bidimensional, estos últimos pueden detectar burbujas de aire tan pequeñas como 0.10 ml. La ecocardiografía transesofágica bidimensional detecta el tamaño y sitio de las burbujas, así como su paso transauricular de las mismas, función cardíaca, la punta del catéter venoso central, la punta de un catéter de derivación ventriculoauricular, todo con imágenes en tiempo real, sin contaminación del quirófano y sin riesgo para el paciente.⁷⁻¹⁰

En el presente estudio se incluyeron 37 pacientes que se sometieron a procedimientos neuroquirúrgicos por patología intracraneana, todos fueron monitorizados invasivamente

y además se les colocó sin incidentes el transductor del ecocardiógrafo transesofágico bidimensional. En esta serie se obtuvo una incidencia de embolismo aéreo del 56.7% que contrasta con lo reportado por la literatura mundial que varía del 20 hasta el 45%, sin considerar una posición en especial. Albin reporta una incidencia del 21.8%, este hecho se puede explicar por los gradientes gravitacionales elevados que se documentaron en nuestro grupo de pacientes, incluso mayores de 20 cm.¹¹⁻¹³

Se identificaron factores predisponentes para la presentación del embolismo aéreo venoso, como fueron la presión venosa central, ya que en pacientes con presión venosa central menor de 5 mmHg se identificó el 65.8% de todos los casos de embolismo aéreo, en contraste con el 7.3% de los eventos que se produjeron en pacientes con PVC mayor de 10 mmHg. Como se mencionó arriba, el gradiente gravitacional también contribuye a la entrada de aire al sistema venoso, con gradientes mayores de 11 cm ocurrió el 87.8% de los casos de embolia de aire, siendo del 12.2% en pacientes con gradiente menor de 10 cm. La presión arterial media no influyó en la presentación de dicho suceso, con presiones medias entre 50 y 59 mmHg se presentaron 39% de los casos, con medias entre 60 y 69, el 31.5% y con presiones arteriales medias superiores a 70 mmHg el 29.5%.

De todos los casos indentificados por ETE (41 eventos), sólo 12 pacientes (29.3%) presentaron cambios en la capnografía manifestados como un descenso súbito mayor de 5 mmHg en todos los casos y de estos 12 pacientes, sólo 3 (7.3%) presentaron cambios hemodinámicos identificados como bradicardia e hipotensión repentina menor del 20% de la basal intraoperatoria. Estos hechos ponen de manifiesto la capacidad de la ETE para detectar de manera incipiente la entrada de aire, mostrando mayor sensibilidad que los métodos de análisis de gases tele-espiratorios y la vigilancia de los parámetros hemodinámicos solos. Lo que permitió iniciar el tratamiento oportuno y evitar consecuencias desfavorables.^{14,15}

Conclusiones

Se determinó una incidencia del 56.7% de embolismo aéreo venoso en pacientes sometidos a procedimientos neuroquirúrgicos en el Hospital Central Militar.

La ecocardiografía transesofágica bidimensional detecta de manera temprana el embolismo aéreo. La ETE. es más sensible que la capnografía o la vigilancia de parámetros hemodinámicos en la detección del embolismo aéreo venoso.

La presión venosa central es un factor predisponente para la presentación del embolismo aéreo venoso cuando es menor de 5 mmHg.

La presentación del embolismo aéreo venoso es proporcional al gradiente gravitacional.

La presión arterial media no influye en la presentación del embolismo aéreo venoso.

Bibliografía

1. Albin MS. Venous air embolism is not restricted to neurosurgical cases in the sitting position. Sociedad Mexicana de Anestesiología, Memorias.
2. Romay ML, Igartua GL. Relación entre la posición y el embolismo aéreo durante la cirugía de fosa posterior y laminectomía cervical. *Rev Mex Anest* 1989; 12: 8-14.
3. Kopriva ChJ. Ecocardiografía transesofágica bidimensional. Sociedad Mexicana de Anestesiología. Memorias del XIV Curso Anual de Actualización en Anestesiología, México 1988: 61-62.
4. Losasso TJ. Detection and hemodynamic consequences of venous air embolism. *Anesthesiology* 1992; 77: 148-152.
5. Chang JL, Albin MS. Analysis and comparison of venous air embolism detection methods. *Neurosurgery* 1980; 2(7): 135-141.
6. Matjasko J. Anesthesia and surgery in the seated position: Analysis of 554 cases. *Neurosurgery* 17(5): 695-701.
7. Cucchiara RF. Parameters affecting occurrence of paradoxical air embolism. *Anesthesiology* 1989; 71: 235-241.
8. Standefer M, Bay JW. The sitting position in neurosurgery: A retrospective analysis of 488 cases. *Neurosurgery* 14(6): 649-658.
9. Sharma K, Tripathi M. Detection of site of air in venous air embolism: Role of Valsalva maneuver. *J Neurosurg Anesthesiol* 1998; 6(3): 209-211.
10. Cucchiara RF. Identification of patent foramen oval during sitting position craniotomy by transesophageal echocardiography with positive airway pressure. *Anesthesiology* 1985; 63: 107-109.
11. Lesky E. Notes on the history of air embolism venous. *Ger Med Monthly* 1961; 6: 159-161.
12. Adornato DC, Gildenberg PL. Pathophysiology of intravenous air embolism in dogs. *Anesthesiology* 1978; 49: 120-127.
13. Albin MS. Clinical considerations concerning detection of venous air embolism. *Neurosurgery* 1978; 3: 380-384.
14. Brodrick PM. The sitting position; monitoring, diagnosis and treatment of air embolism. *Bailliers Clin Anesthesiology* 1987; 1: 419-440.
15. Cucchiara RF. Air embolism in upright neurosurgical patients: detection and localization by two dimensional transesophageal echocardiography. *Anaesthesia* 60: 353-355.