

## Anestesia en gravedad cero

Dra. Irma Guadalupe García-Colmenero,\* Dr. Jorge Arturo Nava-López\*\*

\* Residente de Anestesiología, Hospital General de México.

\*\* Anestesiología, Hospital General de México. Medicina del Enfermo en Estado Crítico.

Han pasado ya más de cuatro décadas desde que el hombre incursionó en la exploración del espacio y como cualquier actividad que brinda recompensas y satisfacciones, lo ha hecho a un costo alto: la salud de los cosmonautas.

El espacio es un ambiente hostil para el ser humano, ya que en él se carece de la protección de la atmósfera terrestre, dejando expuestos a los astronautas a situaciones inusuales para su fisiología como lo son la microgravedad y la radiación.

La vida y el cuerpo humano se ha desarrollado a todo lo largo de la evolución en presencia de la fuerza de gravedad, de modo que cuando se pierde esta influencia física ocurren cambios drásticos en la homeostasis corporal; algunos suceden de manera inmediata y otros se instalan paulatinamente con el paso del tiempo.

La microgravedad se define como falta de gravedad, es decir, los objetos no tienen peso, pero conservan su masa. Esta sencilla alteración de las leyes físicas que rigen nuestra economía en la tierra tiene como resultado una serie de alteraciones y/o adaptaciones a distintos niveles orgánicos: pérdida de la densidad mineral ósea, atrofia muscular, cambios cardiovasculares, depresión inmunológica, alteraciones de la fisiología pulmonar, de la homeostasis de fluidos, del sensorio y el balance corporal (sistema vestibular). Algunos de estos cambios son importantes para el anestesiólogo cuando se ve en la necesidad de aplicar un procedimiento anestésico a un individuo durante la exposición a microgravedad o en las primeras semanas después de su regreso a la tierra.

En este escrito se revisan algunas de las principales alteraciones fisiológicas de un sujeto expuesto a un ambiente microgravitacional.

**Aparato respiratorio:** en las estaciones espaciales existe una atmósfera controlada compuesta en un 80% por nitrógeno y 20% por oxígeno a una presión de una atmósfera, esencialmente igual que a nivel del mar, con excepción de algunos gases traza. El CO<sub>2</sub> es activamente removido por filtros de

hidróxido de litio y el vapor de agua se mantiene entre los 6 y 14 torr.

Los estudios han revelado que la fisiología pulmonar se modifica de manera importante; sin embargo, ésta no se ve comprometida. Se observa un incremento en la capacidad de difusión de la membrana alveolo-capilar, además de una distribución del flujo pulmonar hacia la red capilar que se traduce en una optimización de la hematosis durante los primeros días de vuelo y que retorna a sus valores basales pasada una semana.

La capacidad residual funcional disminuye aproximadamente 300 mL, debido principalmente a la excursión cefálica que experimenta el diafragma. Durante los primeros días, la capacidad espiratoria forzada disminuye probablemente en relación a una mayor cantidad de flujo sanguíneo intratorácico que contrarresta la expansión alveolar, pero luego de dos semanas la expansión alveolar supera la presión ejercida por el aumento del flujo regional y se observa un incremento de la capacidad vital. Y finalmente, tras una estancia más prolongada se ha reportado una disminución del flujo espiratorio pico y la capacidad vital forzada en el primer segundo, esto probablemente en relación con la pérdida de acondicionamiento de los músculos de la ventilación.

**Aparato osteomuscular:** cuando los astronautas están expuestos a la microgravedad no necesitan más la fuerza de sostén del sistema locomotor para moverse y mantener la posición erguida, por lo que los huesos pierden calcio y los músculos se atrofian. La densidad mineral se pierde 1% por mes. La pérdida muscular está en relación con el incremento de la degradación proteica y con las alteraciones en el control neuromuscular, lo cual genera además patrones anormales en los reflejos osteotendinosos.

Se ha visto que los astronautas tienen una ganancia de estatura de hasta 6 a 8 cm debido a que la falta de compresión axial permite la relajación de la columna con elongación de

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

los músculos, ligamentos y nervios, todo lo cual es causa frecuente de dolor toracolumbar.

Se ha propuesto que la inmovilidad relativa a la que están sometidos los astronautas genera una alteración de la composición y distribución de los receptores nicotínicos en la placa neuromuscular similar a la observada en el paciente críticamente enfermo, con quemaduras o con síndrome de motoneurona inferior. Esto es, el receptor maduro es sustituido por su forma inmadura que contiene una subunidad  $\gamma$  en lugar de la  $\epsilon$  en su estructura y además se distribuye de manera extrasináptica. Las implicaciones de este cambio conformacional son que el canal nicotínico inmaduro permanece abierto de 2 a 10 veces más tiempo que la forma madura y además responde abriéndose ante un agonista a una dosis hasta 100 veces menor.

**Sistema renal:** cuando se ingresa a un ambiente de microgravedad se observa un fenómeno de hipervolemia central (redistribución de los líquidos hacia la parte superior del cuerpo) con aumento del volumen intratorácico y del llenado auricular derecho. Esto, en condiciones normales, generaría una supresión de la liberación de vasopresina con un aumento de la diuresis y vasodilatación compensadoras. Sin embargo, de manera paradójica, y por un mecanismo que aún no es bien explicado, en la práctica ocurre lo contrario: durante las primeras horas se observa una disminución de los niveles de renina, sin una repercusión clínica significativa, pero en las siguientes 24-48 horas se observa una disminución del filtrado glomerular y de la excreción urinaria de sodio y agua debido a una elevación de la concentración de renina, aldosterona y vasopresina, situación que se mantiene hasta que el astronauta regresa a tierra.

La hipercalciuria es el cambio más acentuado y constante que se observa a nivel renal, pero no el único; se han reportado alteraciones del pH urinario, de la excreción de magnesio y citrato y un incremento en el contenido de fosfato en la orina; todos lo anterior incrementa el riesgo de litiasis urinaria.

**Aparato cardiovascular:** la distribución cefálica de volumen IV que se observa, consecuencia de la pérdida de gravedad, condiciona un aumento de la presión y el volumen de llenado de las cavidades cardíacas, hasta en un 20%, y del volumen latido con una paradójica y acentuada disminución en la PVC (de 8.4 a 2.5 cmH<sub>2</sub>O) en los primeros minutos bajo gravedad 0, lo cual pudiera atribuirse a una disminución drástica de la presión intratorácica (de 1.5 a -4.1 mmHg) y de la presión pleural por aumento de la *compliance*.

La distensión auricular desencadena la liberación de péptido natriurético atrial (PNA), el cual genera vasodilatación y aumento de la permeabilidad vascular, lo que asociado al aumento de la presión transmural cardíaca facilita la formación de edema, con contracción del volumen IV por fuga de ésta hacia el intersticio.

Sin embargo, con la exposición crónica (más de 7 a 10 días) lo contrario sucede, es decir, la disminución de entre el

9-20% de líquido intravascular condiciona una disminución de los niveles circulantes de PNA, a su vez, los barorreceptores responden generando una señalización que culmina con el aumento en la retención de agua y sodio y del tono vascular periférico mediado por catecolaminas.

En los estudios se ha reportado la pérdida de masa muscular cardíaca, secundaria a las condiciones de trabajo a bajos volúmenes y resistencias. En caso necesario, las maniobras de compresión torácica durante el RCP se deberán dar «parados de manos» para alcanzar las metas de la AHA en cuanto a la profundidad de las compresiones.

El control autonómico de la FC y la PA se alteran poco durante el vuelo, pero es común ver que los astronautas presenten taquicardias de hasta 160 lpm, especialmente en la posición erguida, con disminución de la TAD de hasta el 25% una vez que regresan a tierra y con duración de hasta una semana.

La presentación de arritmias es poco frecuente pero no imposible y van en relación con las alteraciones hidroelectrolíticas generadas por las modificaciones renales.

**Sistema hematológico:** hay pérdida de hasta un 10% en el hematocrito después de tan sólo 10 días de vuelo y se ha atribuido a una disminución de los niveles de EPO y de la liberación de células rojas desde la médula ósea. Existe también una depresión inmunológica de etiología multifactorial.

**Otros:** en condiciones de microgravedad, el cerebro y el sistema nervioso periférico se deben reprogramar para permitir una serie de señales extrañas y nuevos movimientos tales como flotar. La mayoría de los astronautas experimentan mareo, cefalea, desorientación, náusea y vómito durante los primeros días. Se ha pensado que uno de los factores que podría determinar estas alteraciones es la disminución de la motilidad gastrointestinal.

Una vez hecho este repaso sobre las principales alteraciones que ocurren en el organismo durante y después de la exposición a un escenario de 0 gravedad podremos abordar las consideraciones anestésicas básicas que habremos de tener en cuenta con este grupo poblacional tan particular.

A medida que se avanza en la tecnología aeroespacial y que se vuelve plausible la ejecución de misiones cada vez más lejanas y prolongadas la posibilidad de que algún miembro de la tripulación requiera de asistencia médica incluida cirugía y anestesia ya sea durante el vuelo o en las primeras horas o días posteriores a su regreso son cada vez mayores.

La NASA ha estimado que uno de estos eventos puede presentarse cada 3 a 4 años, lo cual si bien no es frecuente, dista mucho de ser improbable y debido a que una evacuación o la telemedicina son aún situaciones poco factibles en el contexto de una emergencia, se considera indispensable que el equipo médico en la tripulación esté capacitado para atender a un individuo cuyo organismo se encuentra bajo los efectos de la microgravedad.

En primer lugar, el equipo de monitoreo debe ser autorizado para un viaje espacial, es decir, debe ser libre de pirógenos, desgasificado, no explosivo y en bajo costo en cuanto a consumo energético.

En segunda instancia se debe tener en cuenta que cada miembro de la tripulación tiene asignadas labores importantes que difícilmente podrá llevar a cabo en caso de tener que cuidar de otro miembro de la tripulación, por lo que los recursos humanos se deberán racionalizar al máximo.

En cuanto a la técnica anestésica a usar se ha visto que debido a las complicaciones técnicas asociadas con la administración de anestesia inhalatoria, la falta de la interfaz aire-gas que se requiere para administrarla y la inevitable contaminación de la nave, se sugiere, siempre que sea posible, el empleo de técnicas regionales y, en su defecto, según Norfleet la TIVA podría ser una alternativa viable.

Una razón adicional para evitar la anestesia general es al alto índice de falla que se ha reportado en los ensayos de intubación orotraqueal en modelos con pacientes suspendidos, aunque en el 2005 Groemer y colaboradores publicaron un trabajo en donde demostraron que el índice de éxito en la intubación orotraqueal mediante laringoscopia directa podría mejorar si el anestesiólogo suspendía la cabeza del paciente entre sus rodillas, teniendo una tasa de éxito comparable a la del paciente cuya laringoscopia se realizaba con sujeción del tórax a una superficie estática.

Alternativamente, en caso de ser necesario, el grupo del doctor Stazhadze's recomienda el uso de un dispositivo supraglótico tipo mascarilla laríngea para el aseguramiento de la vía aérea con un índice menor de falla en su inserción y adecuada colocación del neumotaponamiento.

La presencia de un canal nicotínico inmaduro en la placa neuromuscular que se puede presentar tan pronto como cinco días después de que el astronauta se encuentra bajo los efectos de la microgravedad, explica la posibilidad del desarrollo de hiperkalemia importante (que pudiera desencadenar una fibrilación ventricular y/o un paro cardíaco) como consecuencia del empleo de un BNM no despolarizante, lo cual constituye una contraindicación del uso de succinilcolina en el manejo de estos pacientes.

En cuanto al uso de agentes no despolarizantes, se ha observado un fenómeno de aumento de la regulación del receptor

para acetilcolina y su distribución difusa dentro de la placa motora, condicionando un estado de resistencia al bloqueador neuromuscular no despolarizante, que obliga al uso de dosis mayores con un tiempo de latencia también prolongado.

Hay que recordar que los astronautas sufren una disminución de la motilidad gastrointestinal que los hace propensos al desarrollo de reflujo gastroesofágico y aspiración pulmonar. En caso de ser necesaria una inducción de secuencia rápida se deberán usar agentes de acción rápida como el rocuronio y rapacuronio con las consideraciones antes descritas.

Existe una respuesta alterada de los adrenorreceptores, tornándose los  $\beta$ -receptores más sensibles y los  $\alpha$ -receptores menos sensibles. Así, es lógico pensar que deberán hacerse ajustes en las dosis de los medicamentos que agonicen o antagonicen estos receptores dependiendo del efecto deseado.

La intolerancia ortostática se presenta hasta en el 64% de los astronautas cuyos viajes han durado entre 4 y 14 días. Al ser su etiología multifactorial (disminución del volumen plasmático, del hematocrito, desacondicionamiento cardíaco y muscular, alteración de los reflejos autonómicos) representa un reto para el anestesiólogo en caso de requerirse intervención quirúrgica de quienes lo desarrollan.

La recomendación que hace Mchaourab para el manejo hemodinámico es la colocación de una vía periférica y central, al menos con 24 horas de anticipación, que permita un monitoreo invasivo y una reanimación hídrica adecuada teniendo como objetivo mantener presiones en cuña de la arteria pulmonar entre 12 y 15 mmHg durante el trans- y postoperatorio. Él y su equipo también infunden fenilefrina a un ritmo de 0.2-0.5  $\mu\text{g/kg/min}$  durante todo este período con buenos resultados.

Un profesional de la salud competente debe estar preparado para enfrentar diversos escenarios, situaciones en que cada paciente es diferente y necesita de un manejo específico. Al día de hoy, más de 600 personas han viajado al espacio y desde el año 2000 esta posibilidad se ha abierto a los turistas, por lo que la probabilidad de que en un futuro no muy lejano se atiendan en quirófanos a pacientes expuestos a microgravedad cada día será más alta y es importante desde ahora comenzar a entrenarse en el manejo de este tipo de pacientes.

## LECTURAS RECOMENDADAS

1. Aubert AE, Beckers F, Verheyden B. Cardiovascular function and basics of physiology in microgravity. *Acta Cardiol.* 2005;60:129-151.
2. Agnew JW, Fibuch EE, Hubbard JD. Anesthesia during and after exposure to microgravity. *Aviation, Space and Environmental Medicine.* 2004;75:571-580.
3. Groemer GE, Brimacombe J, Haas T, de Negueruela C, Soucek A, Thomsen M, et al. The feasibility of laryngoscope-guided tracheal intubation in microgravity during parabolic flight. A comparison of two techniques. *Anesth Analg.* 2005;101:1533-1535.
4. Convertino VA. Consequences of cardiovascular adaptation to space-flight: implications for the use of pharmacological countermeasures. *Gravitational and Space Biology.* 2005;18:59-69.