



Adaptación fisiológica en microgravedad

Carrillo-Esper R¹, Carrillo-Córdova DM², Carrillo-Córdova CA²

Resumen

El desarrollo de la investigación encargada de evaluar la adaptación fisiológica del ser humano en el ambiente de ingravidez del espacio está repleto de desafíos especiales. El campo de las ciencias biológicas en condiciones de microgravedad está estrechamente ligado a la exploración del hombre del espacio. Existe una respuesta adaptativa que permite explicar los fenómenos de adaptación de la fisiología humana a situaciones de microgravedad, en este trabajo se exponen los cambios más significativos en respuesta a la adaptación en microgravedad.

PALABRAS CLAVE: adaptación, fisiología, microgravedad.

Med Int Méx. 2017 November;33(6):764-769.

Physiologic adaptation in microgravity.

Carrillo-Esper R¹, Carrillo-Córdova DM², Carrillo-Córdova CA²

Abstract

The development of research responsible for evaluating the physiological adaptation of the human being in the weightless environment of space is filled with challenges. The field of biological sciences in microgravity conditions is closely linked to human exploration of space. There is an adaptive response that helps to explain the phenomena of adaptation of human physiology in microgravity situations, in this work the most significant changes are set in response to the adaptation in microgravity.

KEYWORDS: adaptation; physiology; microgravity

¹ Academia Nacional de Medicina. Academia Mexicana de Cirugía. Jefe de la División de Áreas Críticas, Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra. Presidente de la Sociedad Mexicana de Medicina del Espacio.

² Pasante de Servicio Social, Facultad de Medicina, UNAM.

Recibido: 2 de febrero 2017

Aceptado: junio 2017

Correspondencia

Dr. Raúl Carrillo Esper
revistacma@comexane.org

Este artículo debe citarse como

Carrillo-Esper R, Carrillo-Córdova DM, Carrillo-Córdova CA. Adaptación fisiológica en microgravedad. Med Int Méx. 2017 nov;33(6):764-769.

DOI: <https://doi.org/10.24245/mim.v33i6.1671>



ANTECEDENTES

El desarrollo de la investigación encargada de evaluar la adaptación fisiológica del ser humano en el ambiente de ingravidez del espacio está repleto de desafíos especiales. Como tal, los vuelos espaciales tripulados han sido relativamente poco frecuentes y costosos, lo que ha derivado en sólo un número pequeño de sujetos disponibles a investigar y la significación estadística de los resultados ha sido, como tal, difícil de evaluar. Además, por razones válidas y comprensibles, los tipos de mediciones realizadas sobre el ser humano han sido limitados. El equipo utilizado en el entorno del espacio ha tenido que ser especialmente diseñado para cada tarea y, por tanto, el desarrollo de tecnología más compleja ha requerido períodos de prueba más prolongados. Por último, cualquier respuesta fisiológica observada en la población de astronautas es, en realidad, el resultado de una combinación o integración de las respuestas de varios sistemas orgánicos, cada una respondiendo de manera simultánea a los desafíos impuestos por los vuelos espaciales y la ingravidez.¹

El campo de las ciencias biológicas en condiciones de microgravedad está estrechamente ligado a la exploración del hombre del espacio. El trabajo de nuestra comunidad científica está destinado a ser aplicado directamente a la medicina espacial. Estos estudios se llevan a cabo como parte de un enfoque más fundamental, a fin de comprender cómo la gravedad afecta a la fisiología. No debemos olvidar que la gravedad ha configurado la vida terrestre a lo largo de cientos de millones de años. Ambas condiciones de microgravedad (reales o simuladas) se utilizan en modelos de investigación fisiológica.

El sistema cardiovascular es particularmente sensible a las condiciones ambientales, especialmente la gravedad y las contramedidas implementadas en la actualidad no han sido lo

suficientemente capaces de prevenir los trastornos cardiovasculares impuestos por el medio ambiente espacial.

Para las agencias espaciales y los equipos de investigación que estudian cómo el entorno espacial altera el sistema cardiovascular, los últimos años han sido muy significativos en varios aspectos:²

- En términos de recursos utilizados (con programas internacionales para simular la microgravedad en la Tierra y el lanzamiento y puesta en marcha del módulo Columbus de la Estación Espacial Internacional).
- En términos del contexto internacional, en particular con el desarrollo de un ambicioso programa espacial chino junto con programas a largo plazo de la NASA, de la Agencia Espacial de Rusia y de la Agencia Espacial Europea.
- En términos de objetivos, con un cambio hacia vuelos de larga duración: el retorno del hombre a la Luna y los preparativos para una misión a Marte.

El conocimiento de las características físicas del espacio propiamente dicho resulta fundamental en Medicina Espacial para comprender las alteraciones fisiológicas surgidas como consecuencia de la exposición a ese medio hostil y antinatural.

La envoltura gaseosa o atmósfera que posibilita la vida en la Tierra depende en su configuración de la fuerza de atracción terrestre o gravedad y de la radiación térmica solar que propende a la masa de gas a expandirse en el espacio adyacente. Entre ambas fuerzas existe un equilibrio permanente que determina en la vertical un decrecimiento continuo de densidad y presión.

A medida que aumenta la distancia a la Tierra, la densidad gaseosa va haciéndose menor, de manera que a los 700 km de la superficie terrestre, las colisiones de las partículas resultan inmensurables. A ese nivel se establece el límite entre la Tierra y el espacio. Por encima de los 700 km se extiende la exosfera, zona donde se mueven libremente partículas de aire. Esta área va haciéndose progresivamente más evanescente hasta constituir el espacio propiamente dicho. A nivel del espacio la densidad de las partículas gaseosas es del orden de 1 a 10 cc.

En el área de transición o “borde espacial”, se distinguen dos zonas importantes: a) la *línea de Karman*, situada a unos 80 km, representa la máxima altitud que permite ascender a una aeronave bajo control aerodinámico de su estructura. Por encima de esta línea, la dirección de los vehículos espaciales se lleva a cabo mediante jets a reacción; b) entre 180 y 200 km de altura la resistencia del aire es insignificante y se considera el límite mecánico entre la atmósfera y el espacio. Los vuelos tripulados en órbita alrededor de la Tierra se efectúan entre 240 y 500 km de altitud, los científicos deben proveer a los vehículos espaciales soporte frente a la ausencia de atmósfera, frente a los efectos de las radiaciones y frente a una potencial colisión con pequeños objetos espaciales.

Las fuerzas iniciales y rotacionales que actúan sobre un astronauta en vuelo orbital pueden afectar su salud, su productividad e incluso su supervivencia. Se distinguen dos fuerzas fundamentales:

a) Las aceleraciones y deceleraciones producidas durante el lanzamiento del vehículo espacial y las que acontecen cuando el vehículo se introduce de nuevo en la atmósfera terrestre. En los primeros vehículos espaciales estas aceleraciones alcanzaban valores de 8 G (en sentido tórax-espalda) y las reentradas a la

Tierra, valores de más de 6 G en el acmén de la deceleración. Sin embargo, en los vuelos espaciales más recientes, la técnica ha permitido no superar más de 3.4 G en las aceleraciones y más de 1.2 G en las deceleraciones (en sentido cabeza-pies). No obstante, el periodo en que operan es mayor (17 a 20 min); ello redunda en importantes implicaciones adaptativas del sistema cardiovascular.

b) En segundo término, debe considerarse la ausencia de gravedad. Esta carencia de peso sucede cuando el vector de fuerza gravitacional queda equilibrado por la fuerza centrífuga que experimenta el vehículo espacial durante su trayectoria tangencial a la superficie terrestre.

La gravedad cero constituye el factor más determinante de la operación espacial puesto que entraña importantes implicaciones médicas y conductuales en las tripulaciones. Se trata de una experiencia vital nueva. Los efectos biológicos de la gravedad cero son objetivables y afectan la mayor parte de las funciones corporales. En general, la adaptación a un ambiente de gravedad cero supone un desacoplamiento respecto a las condiciones basales del prevuelo y esta nueva condición o reajuste comporta una serie de adaptaciones cuando el astronauta retorna de nuevo a las condiciones terrestres.³

Adaptación fisiológica en microgravedad

Durante el vuelo espacial se produce un fenómeno de extrema trascendencia para el organismo: el desplazamiento de los fluidos orgánicos en sentido cefálico. Al mismo tiempo y por complejos mecanismos, se reduce el volumen total de agua corporal, con el consiguiente desarrollo de hipovolemia. La hipovolemia y la redistribución de líquidos se inician cuando el astronauta adopta para el despegue la posición en decúbi-



to, con piernas elevadas. Una vez ingresado el vehículo en órbita, la redistribución de líquidos concluye y se mantiene a lo largo de la estancia en el espacio.

Durante esta etapa se producen los siguientes cambios metabólicos y endocrinos:

- Alcalosis transitoria.
- Aumento en la secreción de adrenalina y mineralocorticoides.
- Exacerbación de las respuestas simpáticas, incluida la activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona.

Esta respuesta adaptativa permite explicar en cierta medida los fenómenos de la cinetosis espacial, la alteración de los patrones del sueño o la fatiga subaguda que aparece transcurridos seis meses de estancia en el espacio.

Sistema vestibular

La exposición a un ambiente privado de gravedad repercutе notablemente en el sistema neurovestibular, regulador de la orientación y del equilibrio. Su disfunción genera los síntomas propios de la cinetosis espacial. Afecta entre 40 y 50% de los tripulantes. Su incidencia sería aún más elevada de no recurrir un buen número de tripulantes a la administración de medicación anticinestósica.

A diferencia de la cinetosis terrestre, la cinetosis espacial se caracteriza por los síntomas siguientes: malestar general, anorexia, letargia y cefalea. La actividad fuera del vehículo espacial no genera nuevos síntomas.

En relación con la cinetosis, parece existir una predisposición individual e, incluso, en cada individuo acontecen modificaciones de la susceptibilidad en el curso de su vida astronáutica.

Los síntomas aparecen justamente después de producirse el ingreso en órbita y se agravan con los cambios de posición cefálica y con los movimientos del cuerpo. En general, desaparecen en el transcurso de dos a cuatro días. La susceptibilidad a la cinetosis se mantiene por algún tiempo durante la fase de posvuelo. Los tripulantes del *Skylab* tardaron una media de 10 días en recuperar la estabilidad postural.⁴

Existen varias teorías para explicar el origen de la cinetosis:

Conflictos sensoriales: se produce un desequilibrio entre los datos proporcionados por los otolitos, los canales semicirculares, la información visual y la originada a nivel de los preso-receptores de la piel y propioceptores articulares.

Redistribución de los fluidos orgánicos originada por la ausencia de gravedad: modifica las condiciones de la endolinfa en el órgano estato-acústico.

Asimetría de los otolitos: en ciertos individuos existe un desequilibrio en la función de los otolitos de cada oído, compensado a nivel central en ambiente de gravedad; la ausencia de gravedad descompensa este equilibrio hasta que los centros compensatorios centrales restablecen de nuevo el equilibrio de los otolitos.

Respuestas sensoriales

Sentido del oído: no se han registrado cambios en los niveles de audición durante los exámenes posvuelo.

Sentido de la vista: en ambiente espacial la visión experimenta cambios subjetivos:

- La ausencia del filtrado atmosférico determina que la luz se perciba con más brillantez.

- Las áreas no iluminadas directamente por la luz solar aparecen como más oscuras.
- La presión intraocular se encuentra discretamente disminuida de forma transitoria en el posvuelo.

Ilusiones cenestésicas: se trata del fenómeno de la *oscilopsia*. El astronauta cree que los objetos se mueven cuando realiza movimientos pasivos o voluntarios de la cabeza. Durante la reentrada a la atmósfera, e inmediatamente después del aterrizaje, los astronautas perciben que los movimientos de la cabeza originan la ilusión de automovimiento y la ilusión de movimiento del entorno (*oscilopsia*). Este fenómeno se debe al reajuste compensatorio de los movimientos oculares a un ambiente de microgravedad; cuando el astronauta regresa al ambiente de gravedad se produce un nuevo reajuste.⁵

Equilibrio postural

La ausencia de peso (gravedad) origina modificaciones propioceptivas. Los órganos sensoriales *reinterpretan* la realidad circundante. El reajuste al regresar a la Tierra produce diversas respuestas adaptativas: a) sensación de giro cuando el astronauta trata de deambular de frente; b) inestabilidad; c) sensación de desplazamiento lateral al andar de frente, como si una mano gigantesca empujase lateralmente; d) los movimientos de la cabeza y cuello al andar se perciben como de mayor amplitud, exagerados; e) al mantener la vertical, se puede tener la sensación de estar vencido hacia delante.

Se trata de respuestas que reflejan la incongruencia suscitada en los órganos sensoriales y en el aparato neuromuscular por la situación de ausencia de gravedad.

Sistema cardiovascular

La exposición del organismo humano a un ambiente exento de gravedad condiciona una compleja adaptación del sistema cardiovascular. Al respecto existe una importante labor de investigación. En las investigaciones desarrolladas en humanos, la alteración orgánica más significativa determinada por la ausencia de gravedad radica en la redistribución de fluidos hacia territorio cefálico. Tal alteración origina sobrecarga cardiaca e incremento de presiones intravasculares: a) el volumen minuto cardiaco sufre un discreto incremento durante el vuelo, presenta máximos durante la fase de lanzamiento y la reentrada a Tierra, la recuperación a valores basales transcurre durante aproximadamente tres semanas durante el posvuelo; b) la presión arterial diastólica disminuye durante el vuelo, la presión arterial media está reducida en el posvuelo; c) el volumen latido se incrementa en las primeras 24 horas de vuelo, posteriormente se reduce; en el posvuelo se registra reducción de 15% en promedio; d) el volumen diastólico final del ventrículo izquierdo sigue los mismos patrones evolutivos; e) el espesor de la masa del ventrículo izquierdo muestra en el posvuelo disminución en torno a 11%.

El reajuste cardiovascular durante el posvuelo requiere varias semanas (tres a cuatro en promedio).^{6,7} **Figura 1**

CONCLUSIONES

En la actualidad el turismo espacial y los viajes espaciales son una realidad. La medicina espacial es una nueva rama de la medicina que se encarga de estudiar no solamente la adaptación fisiológica a la ingravidez, sino también las enfermedades que se manifiestan durante la estancia prolongada en microgravedad y en los vuelos espaciales largos. Nuestro país está dando los

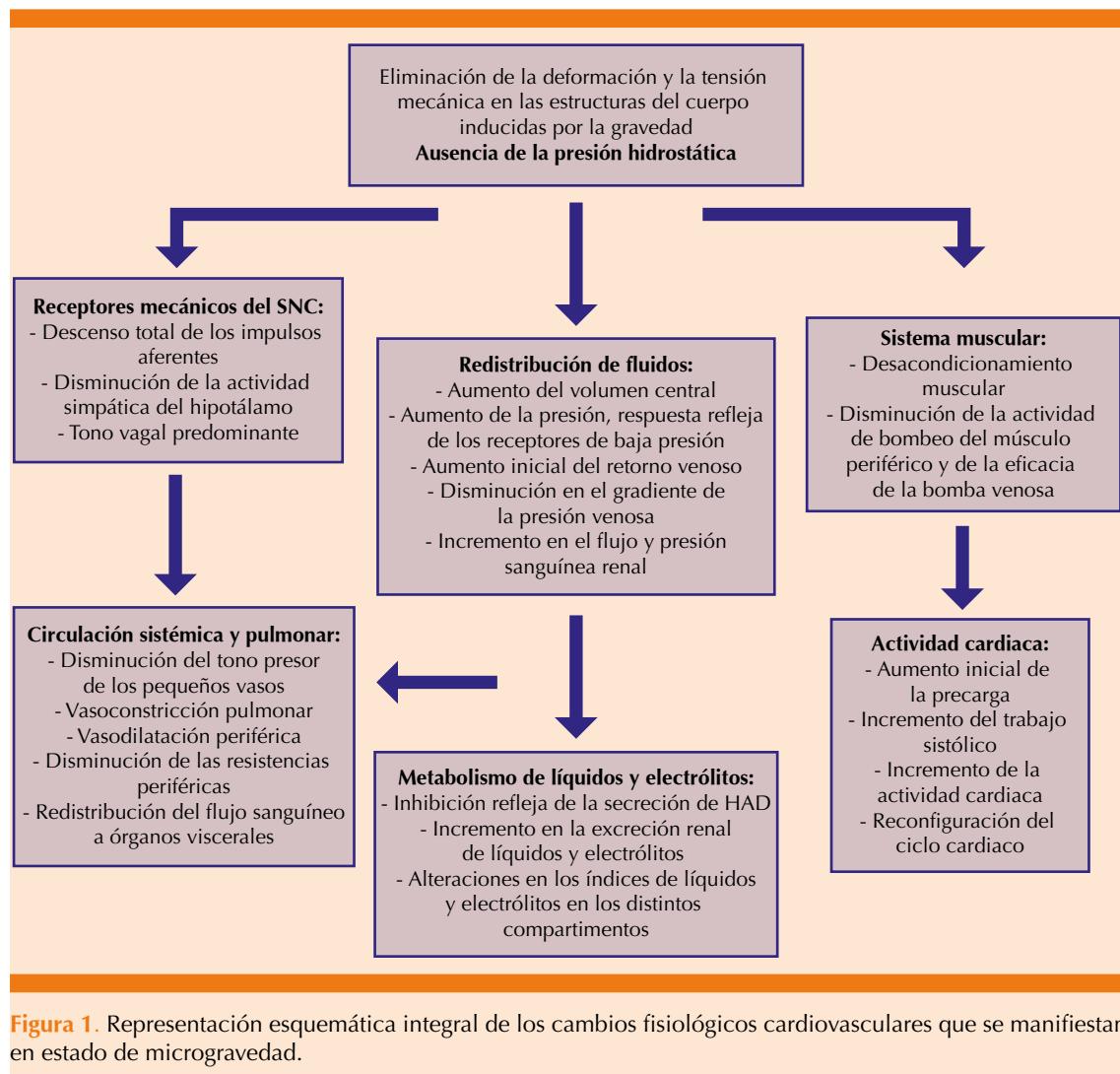


Figura 1. Representación esquemática integral de los cambios fisiológicos cardiovasculares que se manifiestan en estado de microgravedad.

primeros pasos en relación con esta interesante y novedosa subespecialidad.

REFERENCIAS

1. White RJ, Leonard JI, Rummei JA, Leach CS. A systems approach to the physiology of weightlessness. *J Med Systems* 1982;6:343-358.
2. Navasiolava N, Custaud MA. What are the future top priority questions in cardiovascular research and what new hardware needs to be developed? *Respir Physiol Neurobiol* 2009;169S:S73-S74.
3. Clément G. Fundamentals of Space Medicine. 2nd ed. Chapter 1: Introduction to Space Life Sciences. Springer 2007;1-44.
4. Crampton GH, editor. Motion and Space Sickness. Boca Ratón: CRC Press, 1990.
5. Clément G, Reschke MF. Neurosensory and sensory-motor functions. In: Biological and Medical Research in Space: An Overview of Life Sciences Research in Microgravity. Moore D, Bie P, Oser H (eds) Heidelberg: Springer-Verlag, Chapter 4. Springer 2014;178-258.
6. Hargens AR, Richardson S. Cardiovascular adaptations, fluid shifts, and countermeasures related to space flight. *Respir Physiol Neurobiol* 2009;169S:S30-S33.
7. Antonutto G, di Prampero PE. Cardiovascular deconditioning in microgravity: some possible countermeasures. *Eur J Appl Physiol* 2003;90:283-291.