

La medicina ESPACIAL

Rosario Vega
Enrique Soto

El desarrollo de la tecnología espacial, tanto en la Estación Espacial Internacional (ISS) como en las estaciones de China (Tiangong II lanzada en septiembre de 2016 y Tiangong-1, hoy posiblemente fuera de control y en proceso de reingreso balístico a la Tierra), así como en diversos proyectos para desarrollar una misión a Marte, además de los programas para retornar y finalmente habitar la Luna, y otros planes más exóticos de viajes planetarios, plantean varios problemas de orden médico-biológico relacionados con la vida en las condiciones extremas del espacio exterior. Entre otras condiciones encontramos la ausencia de la atmósfera, la existencia de temperaturas extremas, los efectos adversos de la microgravedad, de la aceleración y desaceleración, la presencia de radiaciones ionizantes, además de que en las naves o habitáculos espaciales puede producirse exposición a tóxicos en el ambiente, traumatismos, accidentes por impacto con meteoritos o, como se plantea en la película *Gravity*, impactos con restos espaciales, además de que la nutrición de los astronautas se convierte en un verdadero reto, así como el manejo de su condición psíquica en aislamiento y las diversas alteraciones que presentan en los patrones de sueño y ritmos circádicos, entre otros aspectos médicos. Problemas médico-biológicos no tan severos se producen también por el desarrollo en la aeronáutica moderna, donde los pilotos se someten a aceleraciones y desaceleraciones muy altas, así como



Medicina Espacial. Coordinadores; Raúl Carrillo Esper, Juan Alberto Díaz Ponce Medrano, Lucio Padrón San Juan. CONACYT, México, 2016.

La medicina espacial es una rama de la medicina encargada de estudiar la adaptación del ser humano y de la respuesta de los distintos órganos y sistemas a los ambientes de microgravedad o ausencia de ella y a la exposición a radiación solar y cósmica a la que está expuesta el ser humano fuera de los confines de seguridad de nuestra atmósfera. La medicina espacial se nutre de ciencias afines como son la medicina aeronáutica, la astrobiología, la telemedicina, la nutrición y la biotecnología. Con el auxilio de todas ellas, los astronautas han podido sobrevivir, por tiempos prolongados, en ambientes adversos, y con su estudio y soluciones se ha ido preparando las condiciones biológicas necesarias para un eventual viaje interplanetario.

Al haberlo hecho y por las condiciones mismas de las cabinas espaciales se ha propiciado un gran desarrollo tecnológico colateral derivado de la medicina espacial, ejemplos de ello son la nutrición elemental, pañales desechables, el velcro, y los recicladores y purificadores de agua, por mencionar algunos. Muchos de estos desarrollos espaciales han también impulsado decididamente el avance de la medicina y como ejemplos de esto tenemos los brazos del robot quirúrgico, la telemedicina y el seguimiento satelital de enfermedades.

Se antoja lejana aún la era espacial mexicana, pero no por ello se han dejado de hacer valiosos esfuerzos que han permitido a un puñado de expertos interactuar en el ámbito de la investigación internacional. Es indudable que esta disciplina de la medicina representa una oportunidad de crecer y sentar las bases para un gradual desarrollo de esta área del conocimiento.

La Academia Nacional de Medicina de México, consciente de la importancia del tema se adhirió en forma entusiasta al proyecto iniciado por la Agencia Espacial Mexicana a fin de fortalecer el programa de medicina espacial en México.

a diversos grados de exposición a radiaciones y fenómenos de pérdida de la orientación debidos a las aceleraciones extremas y a condiciones de microgravedad. Por todo esto se ha desarrollado una rama de la medicina moderna que es la medicina espacial y aeronáutica.

La medicina espacial aborda el problema de definir cuáles son los riesgos para la salud del vuelo espacial y concretar estrategias que permitan prevenir y tratar desórdenes diversos en el espacio. Para ello se desarrollan tareas de investigación tendientes a simular el entorno espacial, se realizan procesos muy estrictos de selección médica de astronautas y prevención de riesgos, se diseñan protocolos para el tratamiento médico en

el espacio y planes para misiones de emergencia y rescate de astronautas.

Por otra parte, cabe destacar que el espacio puede ofrecer un entorno ventajoso para el tratamiento de ciertas patologías médicas, no solo para obtener efectos deletéreos, sino algunos que pueden ser favorables a mediano y largo plazo como son, por ejemplo, el tratamiento de lesiones ortopédicas, particularmente las lesiones de la columna vertebral que producen paraplejas y cuadriplejas que pueden ser tratadas de mucho mejor manera –desde el punto de vista de la mecánica músculo esquelética– en el espacio, o casos de sujetos en estado de coma prolongado cuya atención en Tierra es complicada y que en el espacio, en condiciones de microgravedad, podrían manejarse de manera mucho más sencilla y eficaz.

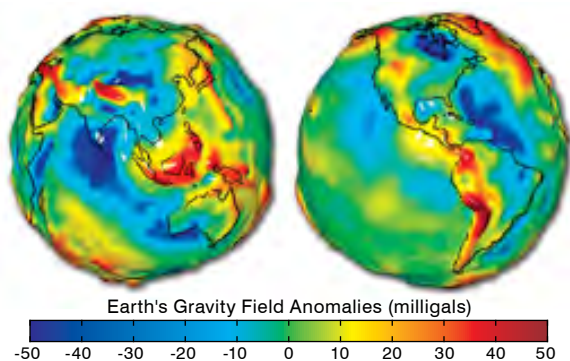


Figura 1. La gravedad cambia a través de la superficie de la Tierra y a través de su atmósfera, debido a varias causas. Primero, hay la variación de la gravedad con la latitud: usted pesa aproximadamente 0.5 % más en los polos que en el ecuador. Wikipedia. Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=479365>.

De hecho, es dable imaginar que se pueden desarrollar módulos de atención médica para estos pacientes en el espacio, constituyendo unidades médicas de tratamiento para desórdenes específicos en casos extremos.

MICROGRAVEDAD

De todos los efectos adversos de la navegación espacial, la casi total ausencia de la fuerza de atracción gravitatoria es probablemente el que afecta de forma más directa la capacidad de los astronautas para desarrollar diversas actividades. La microgravedad tiene efectos adversos cardiovasculares, óseos, musculares y cognitivos. Estos últimos han sido el foco de atención de la investigación que se ha desarrollado en el Laboratorio de Neurofisiología Sensorial del Instituto de Fisiología de la Universidad Autónoma de Puebla.

La atracción gravitatoria es una de las fuerzas fundamentales y eje del desarrollo de la vida. Isaac Newton (1642-1726) describió esta fuerza que determina que, en la Tierra, los objetos caigan debido a la atracción que ejerce el planeta sobre todos los cuerpos que se encuentran en su superficie, incluido el aire que conforma la atmósfera. Curiosamente, la fuerza de gravedad es uno de los pocos procesos cuya intensidad es esencialmente constante a lo largo del tiempo y de la evolución de la vida en el planeta (varía apenas 0.5 % entre los polos y el ecuador, Figura 1). Podemos

imaginar otros fenómenos como la temperatura, que varía ampliamente en la superficie del planeta (desde -40 a +100 °C); lo mismo sucede con la cantidad de luz o la radiación solar, que son altamente variables; la humedad, el viento, el magnetismo, la lluvia, prácticamente todos los fenómenos del medio son variables, en tanto hay uno que se mantiene prácticamente constante: la atracción gravitatoria. Eso ha llevado a proponer que esta fuerza esencial de la naturaleza es un elemento que contribuye a la organización de los seres vivos (Ross, 1984). Las plantas se polarizan en parte gracias a la acción de esta fuerza, aunque las secuoyas parecieran desafiar, por su altura, la atracción gravitatoria.

NEUROBIOLOGÍA Y MICROGRAVEDAD

En prácticamente todos los animales existen órganos con la capacidad para detectar la atracción gravitatoria. En los invertebrados se trata de los estatocistos, que les permiten detectar su movimiento respecto de la atracción gravitatoria. En los vertebrados, el sistema vestibular (que forma parte del oído interno) se ha desarrollado como un sistema altamente especializado que permite detectar el movimiento del animal respecto a la atracción gravitatoria, y más aún, las rotaciones de la cabeza en el espacio referidas respecto a un sistema de coordenadas tridimensional.

Este sistema ha evolucionado desde los vertebrados inferiores, como las lampreas, hasta los vertebrados superiores, en los que tiene una estructura compleja. Su función se basa en el desarrollo de un conjunto de sacos membranosos y túbulos que les conectan y en los cuales se ubican las células ciliadas (Figura 2) que son células que, mediante un sistema de prolongaciones apicales que se flexionan con los estímulos mecánicos, detectan el desplazamiento de una masa sensible ubicada sobre ellas y que de esta forma convierten aceleraciones lineales o angulares en cambios de su potencial eléctrico, dando así

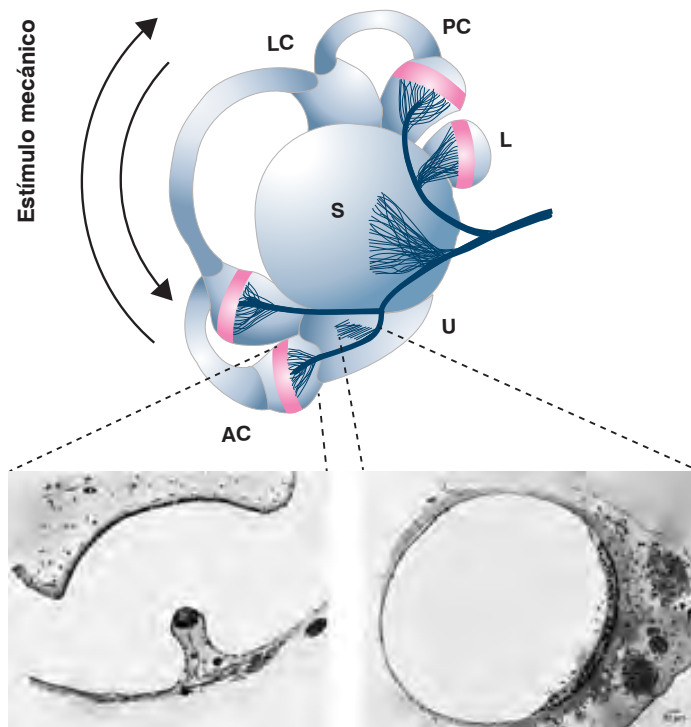


Figura 2. Esquema del sistema vestibular. Se muestra un esquema del vestíbulo en que se destacan los tres canales semicirculares (anterior CA, posterior CP y lateral CL) y los órganos otolíticos (utrículo U y sáculo S). En la parte inferior cortes histológicos de la cresta del canal semicircular y del utrículo.

origen a la respuesta del organismo a los movimientos de la cabeza.

El esquema muestra las células ciliadas y los órganos otolíticos y canales semicirculares que censan aceleraciones lineales y angulares de la cabeza, respectivamente.

Este sistema de detección de aceleraciones origina cambios en la actividad de neuronas vestibulares y la integración de dichos cambios se percibe en los sujetos como movimientos de la cabeza, ya sean rotaciones, inclinaciones o desplazamientos. Para definir el movimiento exacto de la cabeza se requiere de varios niveles neuronales de procesamiento representados por los núcleos vestibulares, los núcleos talámicos y la corteza cerebral. Lo que nos lleva finalmente a la percepción del movimiento en el entorno.

En el espacio, las masas sensibles que se encuentran en los órganos otolíticos dejan de funcionar normalmente, ya que estas masas que en Tierra

están sujetas a la atracción gravitatoria, en condiciones de viaje espacial –ya sea en una órbita estable alrededor del planeta, como en la Estación Espacial, o en viajes más allá– se hallan en condiciones de microgravedad, y las aceleraciones lineales, que en la Tierra llevan a definir la dirección de la normal, que es la dirección de la fuerza de atracción gravitatoria, dejan de ser significativas. Los sujetos no tienen entonces la sensación de que existe una dirección, de lo que es arriba y abajo; de hecho, los objetos no caen, lo cual impide definir una dirección de la normal; es como si la manzana de Newton se hubiera mantenido flotando en el espacio y él, entonces, no habría podido desarrollar las leyes de la gravitación universal. En el espa-

cio, los astronautas son capaces de compensar la falta de sensación de peso mirando alrededor, pero a largo plazo se producen alteraciones importantes en la estructura celular del oído interno, además de que los sujetos, cuando cierran los ojos, tienen sensaciones anormales, como la de estar girando, o sienten extraño el cuerpo y sus partes y, en casos extremos, sienten que abandonan su cuerpo y no se reconocen a sí mismos. Además, a largo plazo se producen cambios plásticos en el cerebro que tienden a eliminar completamente la función vestibular produciendo, en consecuencia, que al retornar a Tierra los astronautas presenten alteraciones en la percepción de su posición y en la estabilización de su mirada.

Debido a esto se ha propuesto el desarrollo de dispositivos basados en microsensores (giróscopos y acelerómetros) capaces de responder a aceleraciones angulares y lineales minúsculas (un décimo de la fuerza gravitatoria normal en la ISS) e inyectar pulsos eléctricos en la región periauricular a fin de devolver a los cosmonautas la sensación de la

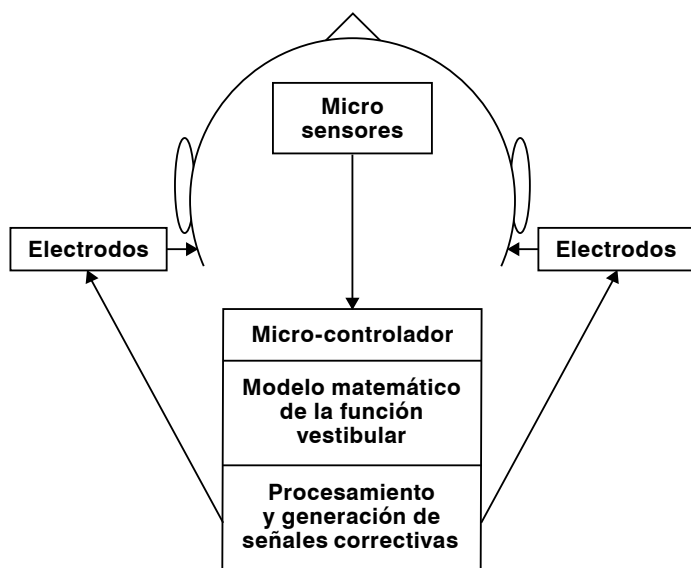


Figura 3. Esquema del dispositivo. Auxiliar vestibular (prótesis) que se basa en el uso de la Estimulación Eléctrica Vestibular (EGV). En esta propuesta se utiliza un sistema de microgrifóscopos y microacelerómetros para detectar los desplazamientos de la cabeza, procesar la salida de dichos sensores a través de un modelo matemático de la función vestibular y, finalmente, inyectar una corriente eléctrica en las regiones periauriculares, la cual deberá contribuir a corregir la posición del sujeto o a devolver la sensación de posición y mejorar la estabilidad de la mirada en condiciones de microgravedad.

dirección de la normal y de los desplazamientos lineales y angulares (giros) de la cabeza (Figura 3). Este dispositivo es actualmente motivo de investigación en el Instituto de Fisiología de la BUAP, en colaboración con investigadores de la Universidad Estatal de Moscú, y ha sido objeto de una patente en los Estados Unidos, una patente en Rusia y, finalmente, otra en México. Adicionalmente a su uso en medicina espacial, dicho dispositivo puede ser utilizado en Tierra para sustituir la función del sistema vestibular en sujetos con lesiones del oído interno y pérdida del equilibrio, o en ancianos con presbiestasis (mal funcionamiento del sistema del equilibrio debido al proceso de envejecimiento). Cabe destacar que actualmente existen diversos grupos de investigación en el mundo trabajando en el desarrollo de prótesis vestibulares, entre los que destacan el grupo de medicina de la Universidad Johns Hopkins, en Estados Unidos, o el Grupo Paneuropeo de Implante Vestibular con sede en el Centro Médico de la Universidad de Maastricht, entre otros.

A diferencia de la mayor parte de dispositivos actualmente en investigación para uso como prótesis vestibulares, el dispositivo propuesto por

nuestro grupo de trabajo no requiere la implantación de electrodos en el oído interno, sino que es un dispositivo auxiliar que puede usarse por un tiempo determinado o de forma continua, pero sin necesidad de realizar un procedimiento quirúrgico, por ello es susceptible de usarse en sujetos normales (pilotos o astronautas), en pacientes y en ancianos con déficit vestibular secundario al envejecimiento (presbiestasia). Cabe destacar que la presbiestasia se presenta en alrededor del 30 % de los adultos mayores a 65 años convirtiendo este en un problema de relevancia médica.

¿CONVIENE A PAÍSES DEL TERCER MUNDO REALIZAR INVESTIGACIÓN EN CUESTIONES ESPACIALES?

Esta es una pregunta que frecuentemente se realiza en nuestro medio. Se trata de una cuestión pertinente y merece ser discutida considerando sobre todo que México es un país con graves carencias de orden social y, por tanto, no son pocas las personas que se cuestionan la pertinencia de invertir en investigación espacial en tanto hay compatriotas que carecen de lo necesario para una vida digna (habitación, alimento, salud, educación). Nosotros, al igual que ellos, pensamos que hay que ser cuidadosos y considerar que si bien existen carencias en sectores significativos de la población, ello no es debido a que México sea, como un todo, un país pobre, sino fuertemente desigual, y que la falta de cobertura para ciertos sectores de la población es esencialmente debida a malas inversiones del gobierno cuando no directamente al mal uso de los recursos públicos. Por ello pensamos que la dicotomía planteada en la pregunta se resuelve siempre y cuando las inversiones, tanto en



© Malú Méndez Lavielle. *Edades*, 2016.

ciencia como en atención a grupos de población en condiciones de pobreza, se realicen de manera lógica, correctamente planificada y honesta y sin detrimento de una en interés de la otra. Si se cumplen estas condiciones no hay duda que México debe participar, y tiene necesidad de desarrollar programas de investigación espacial que contribuyan al avance de tecnologías modernas en ingeniería, comunicaciones, electrónica, control y medicina, entre otras. Mantenernos fuera de la investigación en el campo aeroespacial implica desarrollar una mayor dependencia del exterior y, a largo plazo, pagar por el uso de tecnologías de las cuales pudiéramos ser copropietarios.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado con fondos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y la

Agencia Espacial Mexicana (AEM), apoyo 275058 a Rosario Vega), financiamiento del PFCE 2017 y de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP-BUAP a Rosario Vega y Enrique Soto).

L E C T U R A S R E C O M E N D A D A S

Baloh RW, Honrubia V (2001). *Clinical Neurophysiology of the Vestibular System*. Oxford University Press.

Ross MD (1984). The influence of gravity on structure and function of animals. *Advanced Space Research* 4(12):305-14.

Vega R, Soto E, Pliego A, Alexandrov A, Alexandrova A (2016). Dispositivo para la estabilización de la postura en microgravedad (Cap. 9). *Medicina Espacial*. Coordinadores: Raúl Carrillo Esper, Díaz Ponce Medrano JA, Padrón San Juan L (pp. 121-137). Academia Nacional de Medicina. ISBN 978-607-443-624-2.

Rosario Vega
Enrique Soto
Instituto de Fisiología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
axolotl_56@yahoo.com