

Dr. José M^a Pérez Sastre
Diplomado en Medicina Aeronáutica
Servicio Médico de Iberia, Lineas Aéreas de España

Dr. José L. Rodríguez Villa
Servicio Médico de Iberia, Lineas Aéreas de España

14.- MEDICINA ESPACIAL

1.- PERSPECTIVA HISTORICA

La posibilidad de sustraerse a la atracción gravitacional terrestre y explorar los astros es un antiguo sueño de la humanidad. La Medicina espacial se instaura como una rama de la medicina aeronáutica a raíz de los primeros intentos de llevar a cabo un vuelo espacial.

Primeros hitos de la investigación:

Inicialmente se exploró el espacio por medio de globos y sondas (fig 1). En 1930 Piccard ascendió a unos 15.000 mts para efectuar el estudio de los rayos cósmicos, diseñó una esfera de aluminio que permitiera el ascenso a la estratosfera, habiendo de solventar el problema de la temperatura ya que a esos niveles las temperaturas resultan elevadísimas.

En 1933, Prokofiev, Birnbaum y Godunov realizan investigaciones a nivel de la estratosfera (19.000 mts).

En 1934 Viernov llega a alturas entre 25.000 y 28.000 mts: el objetivo, como él de sus predecesores es el estudio de la radiación cósmica.

En 1935, Stevens y Anderson alcanzan los 22.128 mts a bordo de un globo estratosférico: el Explorer II.

En 1947 se registra la presión barométrica a 100 Km de altura (0.001 mmHg) empleando un cohete V2 procedente de la técnica alemana; asimismo se descubre la concentración máxima de Ozono a los 25 Km y temperaturas de -55°C a dicha altura.

En 1949 El Dr. Armstrong crea en Estados Unidos el primer departamento de Medicina Espacial. En el Simposio que a la sazón tuvo lugar, participó el Dr. Strughold que posteriormente sería considerado el "padre" de ésta rama de la Medicina.

En 1950 Grey comienza a estudiar el efecto de las aceleraciones sobre las sustancias vivas: a partir de 25 G los cultivos celulares presentaban una disminución progresiva del crecimiento.

En 1952 se lanzan a 60 Km de altura monos que han de soportar aceleraciones de 13G y 2 minutos de gravedad cero, superviviendo a la experimentación.

En 1956 Gerathewohl describe los trastornos de la orientación que se presentan en estado de ingravidez.

En 1957, Henses experimenta en una cámara de aire, provisto de un traje especial, las condiciones de presión correspondientes a la que correspondería a 143 Km de altura. En ese mismo año el Dr. Simons consiguió permanecer en cabina hermética más de 32 horas a 30.942 mts. Obsérvese la alta participación de médicos en las investigaciones.

En 1958 se funda la NASA

En 1960, por medio del Sputnik V se envía al espacio a las perras Belka y Strelka, los primeros seres biológicos que regresan a la tierra después de dar 18 vueltas en torno a la Tierra.

Los proyectos iniciales para instalar, por así decir, un ser humano en el espacio: (proyecto Mercury (1961-63), proyectos Gemini, Apollo, Skylab, Soyuz,) requirieron resolver una serie de puntos esenciales en el ámbito del soporte vital, la seguridad y la higiene, básicamente.

-aporte de atmósfera adecuada para la respiración.

-mantenimiento de una presión adecuada.

-aprovisionamiento de agua y alimentos.

-eliminación de residuos y sustancias catabólicas.

-control térmico del vehículo

-superación técnica de condiciones extremas de temperatura, aceleraciones y ausencia de peso (gravedad 0).

El primer vuelo espacial del hombre en órbita terrestre fue llevado a cabo por Gagarin en 1961, efectuando una vuelta en torno a la Tierra en 108'. A raíz de este hito, se produciría una escalada de vuelos espaciales en las que participaron numerosas misiones rusas y norteamericanas. Es entonces cuando la Medicina Espacial experimenta su consolidación como ciencia. Había que adaptar al hombre a condiciones artificiales muy particulares.

Durante los vuelos espaciales, ya sea en las fases de despegue o de aterrizaje, ya sea durante el vuelo propiamente dicho, el hombre se ve sometido a condiciones gravitacionales completamente distintas a las terrestres; se pasa de la ausencia de gravedad durante el vuelo orbital ($G=0$) a valores próximos a 7G ($1G=9.8$ mts/seg) durante las fases de aceleración y deceleración del vehículo. El astronauta tiene entonces una sensación similar, pero a escala mucho mayor, que la que experimentamos al sentirnos arrastrados hacia abajo al arrancar un ascensor muy rápido. Una aceleración próxima a 7G significa que nuestro peso aumenta 7 veces y esto se da también para todos los tejidos y órganos internos; por ejemplo, el peso específico de la sangre en tales condiciones es casi el mismo que corresponde al hierro fundido, de ahí que fuesen muy serias las preocupaciones en torno a las condiciones y posibilidades de vida de los

astronautas. Sin embargo, el cuerpo humano, se ha mostrado mucho más resistente de lo previsto, capaz de soportar aceleraciones incluso del orden de 20G, por un periodo corto de tiempo.

La investigación en el campo de la Medicina Espacial se realiza a nivel de laboratorio y en vuelo, aún cuando en éste caso resulta siempre limitada. Así como los periodos de aceleración resultan breves y, por tanto, fáciles de simular en el laboratorio, la ausencia de peso, una condición en la que permanece el astronauta largos periodos, solo puede ser simulada en tierra por cortos periodos de tiempo, lo cual hace que la experimentación resulte limitada.

Así mismo, la Medicina Espacial se ocupa de los problemas de orden psicológico que suscita una condición ambiental extremadamente antinatural como es la ausencia de gravedad.

Los últimos vuelos realizados con modulo presurizado tipo Challenger (1986), Mir (1986), Discovery (1988) y Skylab, han permitido realizar experimentos multidisciplinarios y de laboratorio en órbita terrestre, de un gran valor para la Medicina Espacial, una rama de la Medicina en continua evolución.

2.- EL AMBIENTE ESPACIAL

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.

2.1.- La transición atmósfera-espacio orbital

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 (presión barométrica).

A medida que aumenta la distancia a la Tierra, la densidad gaseosa va haciéndose menor, de forma que hacia los 700 Km de la superficie terrestre, las colisiones de las partículas resultan inmensurables. Es a ese nivel donde se establece el límite entre la Tierra y el espacio (fig 2).

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 por cc.

En el área de transición o "borde espacial", se distinguen 2 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 ésta 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 los 240 a 500 Km de altitud, por debajo del auténtico espacio (>700Km). A estos niveles de altitud, los científicos deben proveer a los vehículos espaciales de soporte frente a la ausencia de atmósfera, frente a los efectos de las radiaciones y frente a una potencial colisión con pequeños objetos espaciales (micrometeoritos).

2.2.- Efecto de los campos de fuerzas

Las fuerzas inerciales y rotacionales que actúan sobre un astronauta en vuelo orbital pueden afectar a su salud, a su productividad e incluso a 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 (programa Mercury) estas aceleraciones alcanzaban valores de 8G (en sentido torax-espalda) y las reentradas a la Tierra, valores de +6G, en el acmé de la deceleración. Sin embargo, en los vuelos espaciales más recientes, (estaciones espaciales) la técnica ha permitido no superar +3.4 G en las aceleraciones y +1.2G en las deceleraciones (en sentido cabeza-pies). No obstante, el periodo de tiempo en que operan es mayor (17 a 20'); ello redundará en importantes implicaciones adaptativas a nivel del sistema cardiovascular.

b) -En segundo término, debe considerarse la ausencia de gravedad (ausencia de peso, weightlessness de los anglosajones). 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.

-

2.3.- 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; en ausencia de gravedad:

- el manejo de cargas resulta extremadamente facilitado, "las cosas vuelan".
- cada movimiento requiere un tiempo de aprendizaje.
- la movilidad está facilitada, los astronautas se mueven como si nadasen.

Los efectos biológicos de la gravedad cero son objetivables y afectan a 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.

2.4.- Micrometeoritos

En el espacio se mueven y desplazan objetos sólidos (meteoroides) que regularmente penetran en las áreas donde se efectúan los vuelos orbitales.

Los meteoros o estrellas fugaces pueden ser observados ocasionalmente en la cúpula celeste. Se trata de objetos incandescentes debido a su fricción con la atmósfera. Los restos de meteoroides que se introducen en la atmósfera constituyen los micrometeoritos, Se estima que alcanzan la atmósfera 10.000 toneladas por día.

Los meteoritos están compuestos por metales y sustancias pétreas. El riesgo de estos elementos en relación al vuelo aun no ha sido perfectamente establecido. Obviamente se han adoptado apantallajes especiales en los vehículos espaciales y trajes de protección especialmente diseñados para prevenir cualquier alteración.

2.5.- Residuos espaciales

Su número es superior al de los meteoritos por encima de los 2000 Km de altura. Se calcula que discurren unos 6000 objetos en las órbitas bajas de la Tierra, con un tamaño superior a los 10 cm. Poseen una velocidad de impacto del orden de 10 Km/seg. y su peso equivale al del aluminio para tamaños inferiores a 1 cm. Tienen interés en relación con el diseño de los vehículos espaciales.

2.6.- Radiaciones

El espacio representa un auténtico vacío, mayor a cualquiera que pudiera crearse en la Tierra. Ello no obsta para que existan en él radiaciones ionizantes de interés biológico por cuanto son capaces de producir alteraciones en las células de los tejidos, generando la muerte celular, células cancerígenas o modificaciones genéticas a largo plazo. Las radiaciones que pueden afectar a los vuelos orbitales son las siguientes:

-Radiación cósmica galáctica (GCR)

Corresponde a partículas originadas fuera del sistema solar, probablemente en el transcurso de la fusión de una supernova en tiempos pretéritos de la historia (1054 a.C). Estas partículas cósmicas están constituidas por:

- protones (87%) o núcleos de Hidrogeno.
- partículas alfa (12%) o átomos de Helio.
- núcleos pesados (1%) Litio, Estaño, etc.

Poseen una elevada energía, en ocasiones superior a 10 elev.19 electrón voltios., lo cual significa que un flujo de baja densidad de partículas cósmicas no puede ser detenido por muro o defensa alguna. Se vigila de forma sistemática los efectos de la exposición prolongada de los astronautas a las GCR afín de establecer límites a su vida laboral.

-Radiación atrapada

En 1958 el Dr. Van Allen estudió por medio de una serie de satélites la presencia de una bandas en torno a la Tierra que contenían partículas geomagnéticamente atrapadas. Hoy día se sabe se trata de electrones y protones procedentes de emisiones solares que resultan captados por el campo geomagnético terrestre. Estas bandas o anillos de Van Allen circundan completamente la Tierra y se encuentran situados el primer anillo entre los 300 a 1200 Km de altura y el 2º hacia los 10.000 Km. Para prever efectos nocivos de

la radiación los trabajos fuera de los vehículos espaciales se efectúan en periodos de vuelo orbital en que no existe riesgo de radiación.

-Eclipsión de partículas solares (SPE, solar particle events)

Con ocasión de la erupción de las manchas solares se forman nubes de gas ionizado que perduran durante algunos días. Constituyen la fuente mas activa de radiación. El hecho de que no pueda preverse su formación no implica que no se detecten incrementos de la luz visible, rayos X y radiación de radiofrecuencia. El problema radica en la nube de protones de alta energía que son eyectados hacia la Tierra. Cuando están próximos al planeta su energía se eleva de 10 MeV a 500 MeV, representando un serio peligro de radiación. No obstante, a nivel de órbitas de baja inclinación, próximas a la Tierra, el campo geomagnetico resulta protector.

-Flujo de neutrones

El proyecto Skylab ha permitido analizar los neutrones, otro componente de la radiación espacial. Su origen no ha sido aun bien explicado. Su riesgo estriba en que al chocar con núcleos de hidrogeno (protón) generan energía. El hecho de que existan abundantes radicales de hidrogeno en los tejidos corporales (agua, grasa, proteínas) determina un riesgo potencial a la exposición a estas partículas. De acuerdo con los estudios llevados a cabo en el Skylab, se atribuye su origen al bombardeo de la estructura del vehículo espacial por los protones atrapados en los anillos de van Allen. El flujo detectado no parece, sin embargo, ser deletéreo para los tripulantes.

En general, cuando se trata de vuelos de corta duración, con trayectorias bien establecidas, la radiación no entraña riesgo para los tripulantes (Gemini 4: 11mRad/día); Sin embargo, los proyectos de estancia prolongada en el espacio (estaciones espaciales Shuttle) requieren una vigilancia muy estricta de las dosis de radiación recibida (Skylab 4: 90m Rad/día).

3.- FISILOGIA DE LA ADAPTACION AL ESPACIO

Los estudios más avanzados en medicina espacial han sido llevados a cabo durante las misiones espaciales del proyecto Apollo y en los vuelos del Skylab. Aún existiendo dificultades para desarrollar las investigaciones a bordo, se han podido obtener datos muy representativos de los procesos de adaptación que genera y caracteriza el vuelo espacial. Revisión de forma sumaria, por aparatos, de los aspectos más relevantes de acuerdo con los datos disponibles (1989).

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 consiguiente hipovolemia. La hipovolemia y la redistribución de líquidos se inicia cuando el astronauta adopta para el despegue la posición en decúbito, 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. En la fig 3 se resumen los probables mecanismos fisiopatologicos propuestos para explicar el fenómeno.

Básicamente se produce:

- alcalosis transitoria
- aumento de secreción de Adrenalina y mineralocorticoides
- exacerbación de las respuestas simpáticas, incluyendo la activación del sistema renina-angiotensina.

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 6 meses de estancia en el espacio.

3.1.- Sistema vestibular

La exposición a un ambiente privado de gravedad repercute notablemente en el sistema neuro-vestibular, regulador de la orientación y del equilibrio. Su disfunción genera los síntomas propios de la cinetosis espacial.

Afecta entre un 40 a un 50 % de los tripulantes. Su incidencia sería aún más elevada de no recurrir un buen número de tripulantes a la administración de medicación anticinetósica.

A diferencia de la cinetosis terrestre, la cinetosis espacial se caracteriza por los síntomas siguientes:

-malestar general

-anorexia

-letárgia

-cefalea

Asimismo, son frecuentes los vómitos y la sensación de giro, con la particularidad de no acompañarse de náusea previa.

La actividad fuera del vehículo espacial no genera nuevos síntomas.

En relación a 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 de la cabeza y con los movimientos del cuerpo. En general desaparecen en el transcurso de 2 a 4 días.

La susceptibilidad a la cinetosis se mantiene por algún tiempo durante la fase de postvuelo. Los tripulantes del Skylab tardaron una media de 10 días en recuperar la estabilidad postural.

Existen varias teorías para explicar el origen de la cinetosis:

a) -conflicto sensorial: se produciría una desarmonía entre los datos proporcionados por los otolitos, la correspondiente a los canales semicirculares, la información visual y la originada a nivel de los presorreceptores de la piel y los propioceptores articulares.

b) -redistribución de fluidos orgánicos originada por la ausencia de gravedad: modificaría las condiciones de la endolinfa en el órgano estato acústico.

c) -asimetría de los otolitos: en ciertos individuos existiría un desequilibrio en la función de los otolitos de cada oído, compensado a nivel central en ambiente de gravedad; la ausencia de gravedad descompensaría este equilibrio hasta que los centros compensatorios centrales restableciesen de nuevo el equilibrio de los otolitos.

3.2.- Respuestas sensoriales

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

Sentido de la vista: en ambiente espacial la visión experimenta cambios subjetivos:
-la ausencia de filtraje 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 ocular se encuentra disminuida de forma transitoria en el postvuelo.

..

-Durante el periodo inicial del vuelo se ha evidenciado una reducción de la performance propioceptiva (valoración de los ángulos de flexión de codo y tobillo).

-Aparición de 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 cabeza originan la ilusión de automovimiento y/o la ilusión de movimiento del entorno (oscilopsia). Este fenómeno es debido 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.

Equilibrio postural.

La ausencia de peso (gravedad) origina modificaciones propioceptivas. Los órganos sensoriales "reinterpretan", por así decir, la realidad circundante. El reajuste al regresar a Tierra produce diversas respuestas adaptativas:

- sensación de giro cuando el astronauta trata de deambular de frente.
 - inestabilidad.
 - sensación de desplazamiento lateral al andar de frente, "como si una mano gigantesca empujase lateralmente".
 - los movimientos de cabeza y cuello al andar, se perciben como de mayor amplitud, exagerados.
 - al mantener la vertical, se puede sentir 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.

La performance motora no sufre, sin embargo, un deterioro significativo.

Sueño

Los astronautas suelen referir haber padecido disturbios del sueño durante el vuelo espacial; sin embargo, la readaptación al ambiente de gravedad, al regreso a la Tierra, parece ser más disruptivo para los patrones de sueño. Las investigaciones llevadas a

cabo en el proyecto Shuttle muestran que un 30% de los astronautas requería medicación para el sueño.

Durante el vuelo el sueño se ve perturbado fundamentalmente por la cinetosis, el ruido y la excitación.

4.- SISTEMA CARDIOPULMONAR

La exposición del organismo humano a un ambiente exento de gravedad condiciona una compleja adaptación del sistema cardiovascular. Existe al respecto una importante labor de investigación. En las investigaciones llevadas a cabo 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 cardíaco sufre un discreto incremento durante el vuelo ; presenta máximos durante la fase de lanzamiento y en la reentrada. La recuperación a valores basales transcurre durante aproximadamente 3 semanas durante el postvuelo.

b)-la presión arterial diastólica disminuye durante el vuelo; la presión arterial media esta reducida en el postvuelo.

c) -el volumen latido se incrementa en las primeras 24 horas de vuelo; posteriormente se reduce; en el postvuelo se registra una reducción de un 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 presenta en el postvuelo una disminución en torno al 11%

Datos de experimentación:

- -Documentación gráfica: fotografías realizadas durante el vuelo (Skylab) muestran la congestión cefálica bajo forma de: edema facial, engrosamiento de los párpados, congestión de las venas yugulares y de la sien, de los vasos del cuero cabelludo y de la frente.

- Reducción mensurable de los diámetros del muslo y de la pantorrilla. Revierte rápidamente en el postvuelo.

- La redistribución de líquidos sigue una curva exponencial de forma que alcanza un máximo a las 24 horas de iniciar el vuelo y se estabiliza y mantiene en el curso de unos 3 a 5 días.

La tolerancia ortostática se encuentra invariablemente reducida en todos los vuelos. Consecuentemente, existe una tendencia al síncope espontaneo. Para estudiar ésta alteración se han utilizado diversos tests, por ejemplo, el LBPN test (lower body negative pressure) que consiste en la aplicación de presiones negativas en las zonas distales de

los miembros inferiores. Basicamente muestra como se establece un descenso del volumen minuto y una reducción de la presión del pulso.

Mediante pletismografía se ha constatado un incremento significativo durante el vuelo del flujo de sangre a nivel de las piernas.

La compliance venosa se encuentra aumentada durante el vuelo.

A través de estudios radiológicos se observa una discreta reducción del tamaño cardíaco (relación cardio torácica C/T) Reducción media de -0.018 .

La ecocardiografía muestra una disminución del volumen de eyección en el postvuelo y del volumen diastólico final del ventrículo izquierdo. Según evidencian los gráficos de la función ventricular, (fig 4) tanto la contractilidad del miocardio como la función cardiaca no se encuentran alteradas, aún cuando, como habíamos previamente señalado, existe una disminución del tamaño del corazón y del volumen latido.

- -Vectocardiografía:
 - con relativa frecuencia se observa un incremento del vector máximo del complejo QRS; posiblemente en relación con el aflujo vascular en sentido cefálico.
 - incremento en la duración del intervalo PR durante el vuelo. Debido posiblemente al aumento del tono vagal.

Función pulmonar

En relación a la función pulmonar, los estudios post vuelo no han evidenciado anomalías, no obstante, durante el vuelo se produce una reducción de la capacidad vital, en torno a un 10 %; posiblemente debido al desplazamiento en sentido cefálico del diafragma o a las características de la presión ambiente de cabina (1/3 de la existente a nivel del mar.

Tolerancia al ejercicio

Los estudios revelan que la aptitud para realizar ejercicio físico a bordo es inversamente proporcional al tiempo requerido por el sistema cardiovascular para alcanzar la readaptación en el postvuelo.

Arritmias

Durante el vuelo se observan diferentes grados de disritmia cardíaca, generalmente intermitentes y de carácter leve. Aun no está bien establecido en qué grado resulta arritmógeno el ambiente espacial.

El reajuste cardiovascular durante el postvuelo requiere varias semanas.(3 a 4 semanas en promedio).

5.- VARIACIONES HEMATOLOGICAS E INMUNOLOGICAS MODIFICACIONES ENDOCRINOLOGICAS Y BIOQUIMICAS

El vuelo espacial determina modificaciones en diversas constantes biológicas y bioquímicas. En el cuadro siguiente cuadro, se han recogido, de forma esquemática, los datos más representativos, clasificados según el periodo de la misión- prevuelo, vuelo y postvuelo-, así como las variaciones determinadas por el tipo de vuelo y la duración de la operación. Determinados datos resultan muy indicativos de las numerosas y complejas alteraciones que experimenta el organismo humano en el medio ambiente espacial.

(Fuente: Nicogossian, Space Psychology and Medicine)

● **CAMBIOS FISIOLÓGICOS ASOCIADOS AL VUELO ESPACIAL**

Parámetros fisiológicos	Vuelos cortos (1-14 d)		Vuelos largos (>2 sems)	
			Prevuelo-vuelo	Prevuelo-Postvuelo
LIQUIDOS CORPORALES				
Agua corporal total	Se incrementa un 3% durante el vuelo		Se reduce en el postvuelo	
Volumen plasmático	Se reduce en post-v (excepto en Gemini7 y 8)		Marcada reducción en el post-v RPB: 2 sems (
Hematocrito	Discreto incremento post-v			
Hemoglobina	Normal o discreto	Incremento inicial en v. disminuye lentamente al final del v.	Disminuye en el post-v RPB: 1-2 meses	
Hematies nº (RBC)	Disminuidos en el post-v. RPB: mínimo de 2 sems.	Disminuidos un 15% durante las primeras 2-3 sems. de v. comienzo recuperación a partir de 60 días la recuperación de RBC (masa corpuscular de hematies) es independiente del tiempo transcurrido en el espacio	Disminución post-v. RPB: de 2 sems. a 2 meses despues del aterrizaje	
Vida media de Hematies (51Cr)	Sin variación		Sin variación	
Metabolismo del Fe (turn-over)			Sin variación	
Vol. corpuscular medio (MCV)	Aumentado en el post-v RPB: min 2 sems		Variable pero dentro de limites normales	
Hemoglobina corpuscular	Aumentada en el post-v		Variable pero dentro de limites normales	

media (MCH)	RPB: 2 sems		
Concentración media Hb corp. (MCHC)	Aumentada en el post-v RPB: min. 2 sems.	Variable pero dentro de límites normales	
Reticulocitos	Disminuidos en el post-v.; RPB: 1sem	Disminuidos en el post-v en Skylab: RPB: 2 sems para 28 días de misión; 1 sem. para 59 días y 1 día para 84 días de misión.	
Leucocitos	Aumentados en el post-v; sobretodo los neutrofilos; linfocitos disminuidos. RPB: 1 o 2 días. Cambios no significativos en la relación T/B de linfocitos	Aumentados sobretodo los neutrofilos; disminución en el post-v de los linfocitos T y reducción de la función de las células T medido por medio de la falta de respuesta a PHA. RPB: 3 a 7 días; elevación transi-post-v de células B; RPB; 3 días.	
Morfología de los Hematíes	No se observan cambios significativos en el post-v	Incremento en el % de eritrocitos; disminución de discocitos	Rápidos cambios de tamaño de células rojas durante el vuelo; significativo aumento del influjo del K.; RPB: 3 días.
Proteínas plasmáticas	Aumento ocasional de las Alfa 2 Globulinas, debido al aumento de la Haptoglobina ceruloplasmina y Alfa 2 macroglobulina; elevación de IgA y Factor C3.	Cambios no significativos	
Enzimas de los Hematíes	No existen cambios significativos en el post-v	Disminución de la Fosfofructoquinasa ;no se evidencia peroxidación de lípidos o daño en los hematíes	No se observan cambios en el post-v.
Electrolitos del Suero/plasma	Disminución del K y Mg en el post-v	Disminución de Na, Cl y de la osmolaridad; discreto aumento del K y de PO2	Disminución post-v del Na, K, Cl, Mg; aumento de la PO2 y de la osmolaridad.
Hormonas en Suero/plasma	Aumento durante el vuelo de ACH, ANF y disminución de ACTH, Aldosterona y Cortisol. Disminución de la Glucosa durante el vuelo.	Aumento del Cortisol, disminución de ACTH e Insulina	Aumento post-v de la Angiotensina, Aldosterona, Tiroxina, TSH y GH; disminución de ACTH
Metabolitos y enzimas en Suero/Plasma	Aumento post-v de Urea, Nitrógeno, Creatinina y Glucosa en sangre; disminución de la Ac. Láctico deshidrogenasa, Creatinofosfoquinasa, Albúmina, Triglicéridos, Colesterol y Acido úrico.	Disminución post-v de Colesterol, Acido úrico.	

Volumen de orina	Disminuido en el post-v	Disminuido al comienzo del vuelo.	Disminuido en el post-v.
Electrolitos en Orina	Aumento en el post-v Creatinina, PO ₄ y de la osmolaridad. Disminución del Na, K, Cl y Mg.	Aumento de la osmolaridad, del Na, K, Cl y Mg, Ca y PO ₄ disminución de la excreción de Acido úrico.	Aumento en la excreción de Ca; disminución al comienzo del post-v del Na, K, Cl, Mg, PO ₄ y Ac. úrico la excreción de Na y Cl se incrementa en la 2ª y 3ª semana del post-v.
Hormonas urinarias	Disminución durante el vuelo de 17-OH corticosteroides; aumento de la Aldosterona. Aumento en el post-v del Cortisol, Aldosterona, ADH y Pregnan-diol; disminución de la Epi-nefrina, 17-OH corticoste-roides, Androsterona y Etiocolanona.	Aumento durante el vuelo de Cortisol, aldosterona y 17-cetosteroides totales; disminución de ADH.	Aumento del cortisol, Aldosterona Norepinefrina y disminución de de 17-CH corticosteroides y AOH.
Aminoácidos urinarios	Aumento en el post-v de la Taurina y beta-Alanina; disminución de la Glicina, Alanina y Tirosina.	Aumentados durante el vuelo	Aumentados en el post-v.

6.- MODIFICACIONES EN EL SISTEMA OSEO Y MINERAL

SISTEMA MÚSCULO_ESQUELETICO

Estatura	Discreto aumento en la 1ª semana de vuelo (aprox. 1-3 mm)	Aumento durante las 2 primeras semanas de vuelo (max. 3-6 cm); a continuación se estabiliza.	La altura se torna normal en R+O
Peso	Perdida de peso post-v (aprox. 3.4%) (2/3 es debido a pérdida de agua)	Durante el vuelo perdida de peso: 3-4% en los 5 primeros días; luego regresa al valor pre vuelo al finalizar la misión. Las pérdidas iniciales se deben a pérdida de fluidos; las posteriores son de origen metabólico.	Rápido aumento de peso durante los primeros 5 días de post-v sobretodo por replección de líquidos lenta recuperación en 2 a 3sems- La pérdida de peso post-v es inversamente proporcional a la ingesta calórica durante el vuelo.
Composición corporal		La grasa reemplaza probablemente al tejido muscular.	
Volumen corporal total	Disminuido en el post-v	La masa de fluidos se desplaza en sentido cefálico.	Disminuida en el post-v.
Volumen de la extremidad	Disminuye el volumen de la pierna exponencialmente durante el primer día, luego el nivel de disminu-	En los primeros días lo mismo que en las misiones cortas. El volumen de la pierna puede seguir disminuyendo discretamen-	Rápido aumento del volumen de la pierna inmediatamente despues del aterrizaje, con lenta recuperación posterior

	ción se mantiene hasta mantenerse estacionario a los 3 a 5 días.	te en el decurso del vuelo. El volumen del brazo se reduce discretamente.	(lenta RPB)
Potencia muscular	Disminuye durante el vuelo y en el post-v; recuperación en 1-2 sems.		En el post-v hay reducción de la potencia muscular en las piernas, sobretodo en los extensores. Los ejercicios durante el vuelo reducen la pérdida de fuerza en el post-v, con independencia de la duración del vuelo. La fuerza a nivel del brazo es normal o discretamente disminuida.
Reflejo aquileo	Esta reducida la duración del reflejo en el post-v.		Esta reducida la duración del reflejo en un 30% o más en el post-v. Existe hiperreflexia. RPB: en 1 mes aprox.
Balance del Fósforo/Nitrógeno		Balance negativo al comienzo del vuelo; menos negativo o discretamente positivo al finalizar el vuelo.	Rápida recuperación a nivel positivo en el post-v
Densidad ósea	Densidad del Ca óseo disminuida en el post-v; -v; cambios en cubito y radio variables según método empleado.		El Ca óseo se reduce por debajo del nivel pre-vuelo; el grado de pérdida es proporcional a la duración del vuelo. La recuperación es gradual y viene a durar el tiempo que ha durado la misión.
Niveles de Calcio	Balance negativo, se hace más negativo según transcurre el vuelo.	La excreción de Ca en orina aumenta durante el primer mes de vuelo; luego se nivela; la excreción de Ca fecal desciende hasta el 10º día, luego aumenta continuamente negativo durante el vuelo.	El Ca urinario disminuye por debajo del nivel basal pre-vuelo al 10º día; el Ca fecal disminuye y no alcanza el umbral basal pre vuelo hasta el 20º día. Niveles de Ca marcadamente negativos en el post-v; disminuye la negatividad hacia el 10º día. Persiste discretamente negativo al 20º día. RPB: un mínimo de varias sems

RPB: tiempo de recuperación de los valores o niveles basales.

7.- CUIDADOS MEDICOS Y MANTENIMIENTO DE LA SALUD DURANTE EL VUELO

Los requisitos ocupacionales del vuelo espacial exigen que el astronauta mantenga en todo momento un nivel adecuado de salud. En consecuencia, antes de llevar a cabo una misión, se prepara y vigila la salud de los astronautas para que dispongan de una performance óptima. Durante el entrenamiento del astronauta, existen procedimientos para simular la gravedad cero y simuladores de vuelo.

La Medicina Espacial es eminentemente preventiva:

a)-efectúa la selección de los astronautas

b)-imparte cursos a las tripulaciones enseñando a solventar por si mismos, los problemas médicos que pudieran ocurrir en el transcurso de la misión.

-

c)-durante el postvuelo, el reacondicionamiento de los astronautas a las condiciones terrestres transcurre en varias semanas bajo vigilancia medica. Básicamente se lleva a cabo una rehidratación oral con soluciones salinas (liquido isotónico de características similares al liquido extracelular (EFC. Extracellular fluid).

Durante la misión espacial un equipo médico lleva a cabo desde tierra una monitorización continuada por medio de biotelemedicina, vigilando estrechamente las condiciones medio ambientales a bordo:

a)-el nivel de ruido y la exposición a radiaciones.

b)-el aprovisionamiento de comida.

c)-la higiene personal.

Durante los trabajos fuera de la cápsula espacial, se recibe información electrocardiográfica y acerca de las condiciones metabólicas.

Previamente al vuelo se efectúa:

a) - un entrenamiento medico de los astronautas mostrando el contenido de los botiquines disponibles a bordo y familiarizando al astronauta con consideraciones higiénicas y toxicológicas.

..

b)-exámenes médicos y analíticos.

c)-en los días previos al vuelo deben ajustarse los ritmos biológicos al momento del lanzamiento espacial.

-

d).-a bordo, los astronautas deben ajustar los ritmos horarios de actividad a lo establecido desde Tierra. Se establecen unos horarios de descanso.

e)-se concede gran importancia a la práctica de ejercicio físico ya que contribuye notablemente a la performance cardiovascular y a la adaptación a la gravedad cero.

Alimentación

-para ser utilizados en ausencia de gravedad, los alimentos se mantienen en recipientes especiales y han de manipularse, asimismo, de una forma especial.

-se procura que la administración de alimento se realice del modo más natural posible. En las estaciones espaciales modernas, es factible comer "un bistec" con cuchillo y tenedor. Apenas hemos hecho referencia a las condiciones psicologicas del tripulante, pero es indudable que una buena alimentación incrementa la moral.

-reciben especial atención los niveles calóricos y el valor nutricional de los alimentos, el gusto y la forma de presentación.

-los menús se establecen diariamente según las preferencias de los tripulantes.

Higiene

En los primeros vuelos espaciales los recursos para la higiene eran muy rudimentarios. sin embargo, la higiene a bordo en las estaciones espaciales (Shuttle) se realiza en autenticas bañeras y se incluyen en las provisiones elementos de limpieza (jabones).

Las excretas se eliminan por sistemas adecuados de vacío, en evitación de cualquier tipo de contaminación.

Protección ambiental

Existe un control continuo de las dosis de radiación a que están expuestos los tripulantes. Las dosis límite recomendadas por NCP (1989) están recogidas en la tabla 2.

Para ambos sexos, un 3% representa el límite de radiación a que puede estar expuesto un astronauta durante su vida profesional.

Tabla 2

LÍMITES RECOMENDADOS DOSIS EQUIVALENTES PARA TODAS LAS EDADES (unidades REM)			
periodo de tiempo	BFO (órganos germinativos)	Ojos	Piel
tiempo de profesión	varones: $200+7.5$ (edad-30) hembras: $200+7.5$ (edad-38)	400	600
anual	50	200	300
30 días	25	100	150

8.- EQUIPO MEDICO A BORDO

Los botiquines empleados a bordo en los proyectos Gemini, Apollo y Skylab (SOMS= Shuttle Orbiter Medical System) constaban de:

- botiquín de primeros auxilios (ver tabla 3)
- botiquín médico.
- equipación para vendajes.
- kit de emergencia
- equipo portátil de Oxígeno.

Tabla3

BOTIQUIN DE PRIMEROS AUXILIOS

medicamento	formulación y dosis	aplicación
Cyclizine HCl	tabletas 50 mg	cinetosis
d-Anfetamina sulf.	Tabletas 50 mg	estimulante
APC (Aspirina, Fenacetina, Cafeína)	tabletas	antigripal
Meperidina HCl	tabletas 100 mg	dolor
Tripolidina HCl	tabletas 2.5 mg	descongestionante
Pseudo efedrina HCl	tabletas 60 mg	descongestionante
Difenoxilina HCl	tabletas 2.5 mg	diarrea
Tetraciclina HCl	tabletas 250 mg	antibiotico
Metilcelulosa sol.	frasco gotero 15 cc	colirio
Ciclizyna parenteral	45 mg (inyectables 0.9 cc)	cinetosis
Meperidina parenteral	90 mg (inyectables 0.9 cc)	dolor

En la estación espacial existe un dispositivo a bordo que permite configurar Diagnósticos y Tratamientos. (Health Maintenance Facility) En misiones espaciales prolongadas estos equipos operativos son del máximo valor para atender médicamente a las tripulaciones. Se dispone también de un procesador para el control toxicológico.

Esta sucinta exposición no ha pretendido otra cosa que suscitar el interés por una rama de la medicina en continuo desarrollo. Las referencias corresponden a las observaciones efectuadas a lo largo de más de 25 años de actividad espacial; no obstante, carecemos de acceso a los datos más contemporáneos.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Nicogossian A.,Leach C.,Pool SL. Space Physiology and Medicine. 2ed Lea and Febiger. Philadelphia, London 1989.
- 2- Nieto M. Vida humana y espacio. Ed Jims.
- 3- De Hart RL. Fundamentals of Aerospace Medicine. Lea and Febiger. 1ed Philadelphia,London 1985.
- 4- Corominas A. et all. Patología Ambiental y Espacial. Lab.Quimicos Unidos. Barcelona 1976.
- 5- Asimov I. Introducción a la Ciencia. Plaza y Janés. Barcelona 1979.