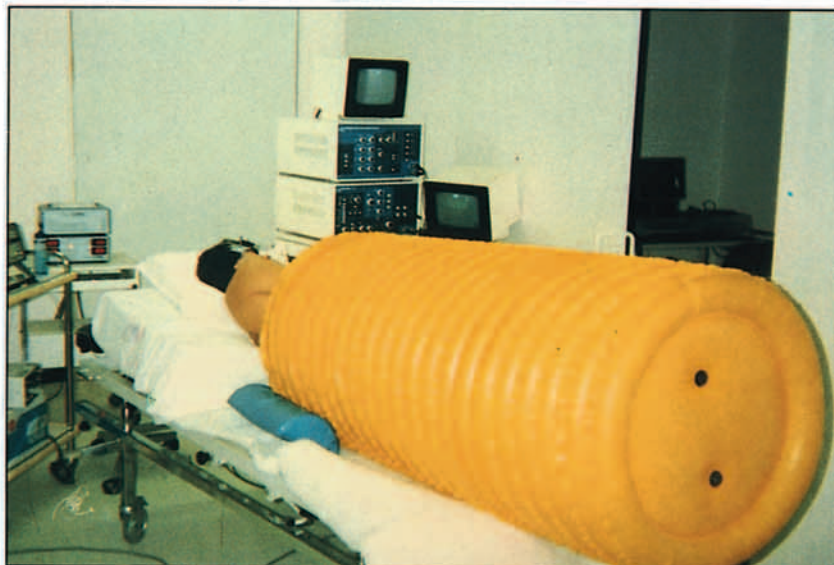


El hombre, el espacio y la medicina (alteraciones fisiológicas)

JOAQUIN DÍAZ MARTÍNEZ,
Comandante de Aviación



El dispositivo LBPN, de presión negativa en la parte inferior del cuerpo se usa tanto como aparato de contramedidas para paliar el desacondicionamiento fisiológico, como de prueba para seleccionar los candidatos a astronautas.

LA Medicina Aeroespacial es, sin duda, mucho más conocida por su parcela Aeronáutica que por la Espacial, los condicionantes tradicionales que entran en juego, se ven ampliados y potenciados por otros que son exclusivos de este nuevo entorno. La ausencia de gravedad, el aislamiento, confinamiento y la actividad continuada a bordo de una estación espacial, son algunos de los factores a tener en cuenta.

La BIOMEDICINA ESPACIAL comprende dentro de su estudio diversas áreas, tales como:

— Las alteraciones fisiológicas inherentes al cambio de entorno.

— Equipos y Sistemas de Soporte de Vida, que permitirán una mejor habitabilidad en el espacio.

— Su aspecto médico-operativo, desde la selección de los candidatos a astronautas con un perfil apropiado, hasta el uso de medidas preventivas y profilácticas que palien los efectos indeseables del espacio.

— El diseño y empleo de medios diagnósticos y terapéuticos en la esfera espacial.

— La Investigación propiamente dicha, que permite la extrapolación y aplicación de sus resultados, en beneficio de la Medicina convencional en tierra.

En el presente artículo y por razones de extensión, sólo se tratará del primer apartado en relación con los puntos anteriormente citados. Como resultado de la experiencia acumulada en estos aproximadamente 30 años de vuelos espaciales tripulados, se han obtenido unos conocimientos de los condicionantes que entran en juego en este campo. La MICROGRAVEDAD es sin duda el gran determinante de las alteraciones observadas en la Fisiología Humana.

CAMBIOS EN LA FISIOLOGIA HUMANA

Se han constatado una serie de alteraciones de repercusión y trascendencia clínico-médica relacionadas con la permanencia en el espacio. Si definimos de una manera simple la fisiología del cuerpo humano, diremos que es el estudio del correcto

CUADRO N.º 1

DESDE que el hombre se adentró en otros medios más hostiles que los propiamente diseñados para él, empezó a luchar por superarlos de una manera tal que le permitiera poder desenvolverse en ellos y, de esta manera, sacarles un rendimiento. En principio fue el elemento acuático, si nos abstraemos de otras incursiones de menor envergadura, y posteriormente, el elemento aéreo que, casi sin solución de continuidad, desembocó en el espacial.

En este contexto, nos encontramos ante uno de los desafíos más grandes que ha encarado el hombre. El salir de este planeta y vivir fuera de él, representa un gran jalón en la historia de la Humanidad.

Los nuevos proyectos y programas que han acometido las Agencias Espaciales, entre ellas la Agencia Espacial Europea (E.S.A.), contemplan la puesta en órbita de una Estación Espacial Internacional, en la cual se planea trabajar e investigar de una manera permanente en el espacio. Los diferentes módulos que la componen se irán ensamblando en el crepúsculo de esta centuria y los albores de la siguiente.

Si bien la tecnología marcha con paso decidido, no se puede decir lo mismo de la "maquinaria humana". La colonización, el habitar de una manera continua el espacio o planetas en el futuro, pasa indefectiblemente por una superación de los problemas fisiológicos que el espacio lleva consigo. ●

MEDICINA AEROESPACIAL

funcionamiento en condiciones normales. Pues bien, cuando las condiciones dejan de ser las normales, en las cuales se ha desarrollado la vida en este planeta, y por ende, el hombre, la fisiología de este mecanismo debería verse alterada, al menos desde un punto de vista teórico.

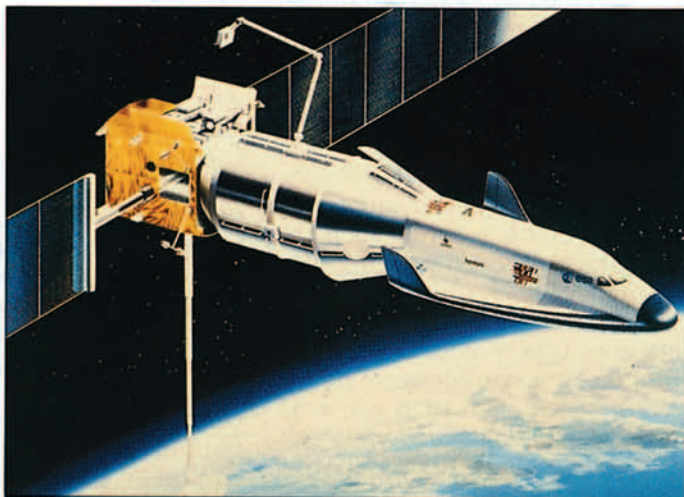
En efecto, las experiencias en este campo han demostrado que la Microgravedad lleva asociada unos cambios fisiológicos sustanciales. Entre ellos, se han identificado los siguientes:

- Alteraciones Cardiovasculares.
- Disminución de Líquidos y Electrolitos.
- Disminución de la Masa Celular Osea.
- Atrofia Muscular.



Las actividades extravehiculares exigen un minucioso planeamiento y seguimiento médico.

El futuro avión espacial Hermes realizará misión de enlace con el módulo de vuelo autónomo (MTFF), que también forma parte del programa Columbus.



- Disminución del componente celular rojo sanguíneo.
- Alteraciones Inmunológicas.
- Trastornos Neurovestibulares.
- Disminución en la capacidad de ejercicio (post-vuelo).
- Modificaciones en los volúmenes respiratorios y cambios en la perfusión.

El Des acondicionamiento Cardiovascular

El sistema cardiocirculatorio se ha desarrollado y evoluciona-

do en nuestro planeta con una constante. Hemos estado expuestos a la acción de la gravedad, en nuestro caso 1 G, durante milenios, y ello ha originado que cuando esta constante no se halla presente se induce un cambio o deshabitación en la dinámica cardiocirculatoria.

La fuerza de la gravedad en la Tierra crea un gradiente hidrostático que tiende a acumular los líquidos corporales en su parte inferior. Por medio de un sistema de válvulas venosas, conjuntamente a su vez con la contracción

muscular, se logra ir evacuando la sangre y otros líquidos, de una manera paulatina, y acorde con el techo de sobrecarga que tiene el corazón; esto se traduce en definitiva en una presión venosa central idónea con los requisitos de diseño de la bomba cardiaca.

Al no ejercer la fuerza su acción, podemos decir que en los primeros días de los vuelos espaciales, el astronauta se encuentra en una situación totalmente nueva. El mecanismo que controla el envío de los fluidos en dirección craneal, se encuentra en este caso sin fuerza de oposición, esto lleva consigo que haya un acúmulo excesivo de volumen en la región de la cabeza y cuello, originando un aumento del volumen manejado por el corazón. En este sentido, podemos decir que el organismo entiende este caso como una "sobrecarga de volumen", aunque es ficticia en coordenadas absolutas, y empieza a elaborar unos mecanismos compensatorios que tienden a paliar el fenómeno, como son: la pérdida de volumen plasmático y masa celular roja.

Cuando se regresa de nuevo a la situación de 1 G, revierte este proceso adaptativo y aparecen fenómenos como la intolerancia ortostática; el corazón empieza a latir de una manera más rápida, con objeto de mantener un volumen de salida necesario. No olvidemos que hay reducción en los fluidos corporales de 1.5 a 2.1, el tamaño del corazón se advierte notablemente menor, en cierta medida debido a la disminución en el volumen sanguíneo. Tanto la actividad mecánica como eléctrica están apreciablemente disminuidas.

Aparece una disminución de la tolerancia ortostática fisiológica después del vuelo, de diversa consideración, está en función directa al periodo de tiempo de la misión; pero constante en todos los casos. Sus causas más inmediatas son: por un lado, el

almacenamiento incrementado en la parte más inferior del cuerpo y la disminución del contingente sanguíneo; todo ello se traduce en un menor riego vascular de las áreas superiores y por ello del cerebro. Entre los síntomas apreciados encontramos mareos, vértigos, desvanecimientos e incluso cuadros presíncopales.

El Sistema Musculoesquelético

El sistema musculoesquelético es otro de los grandes afectados. La pérdida de minerales es cuantitativa; se ha llegado a apreciar hasta un incremento de calcio en orina del 60-100% que en condiciones normales; por tanto es sabido que el hueso pierde calcio, fósforo, y otros elementos óseos, que representan pérdidas del orden de 0.5% por mes del total óseo. Un ejemplo ilustrativo es el que se refiere al hueso calcáneo (situado en el pie) que tiene una pérdida del 5% por mes, siendo este hueso uno de los que más interviene en soportar el peso del sujeto.

Esta pérdida de los componentes óseos se ve traducida en una acción que deteriora el entramado arquitectural óseo, y por tanto, la fortaleza y resistencia de los huesos, surgiendo un riesgo potencial en las misiones espaciales de larga duración; una pérdida del contenido mineral óseo del 20-25% en huesos que soportan el peso, tales como los de las extremidades inferiores y columna vertebral, los convertirían en débiles y frágiles.

El componente muscular se ve igualmente afectado en condiciones de microgravedad. Es obvio que la constante gravitacional ha condicionado durante el tiempo, en el caso del hombre, un desarrollo de los músculos supeditado a la función que desarrollan. De todos ellos cobran vital importancia, el grupo de los flexores-extensores, donde se ha registrado una disminución en su circunferencia.

Por ello, en condiciones de ingravidez o próxima a ella, al disminuir el factor de carga sobre ellos, se origina un proceso gradual de atrofia. El ejercicio en tales condiciones puede paliar en parte tal desacomodamiento, pero no llega a contrarrestarlo, pudiendo poner en serias complicaciones para ejecutar algunos movimientos en función del tiempo que se permanezca en tales condiciones.

La pérdida del grosor y fuerza del músculo ha sido evidenciada en los exámenes posteriores al vuelo, originando esta nueva situación la puesta en práctica de una serie de ejercicios rehabilitadores. Este es el caso de los cosmonautas soviéticos que han permanecido en el espacio por un largo período de tiempo. Las alteraciones musculares referidas requieren, para su completa recuperación, períodos de tiempo que oscilan desde semanas a meses, en función de la duración del vuelo.

Estudios por parte de especialistas en fisiología muscular han apuntado, sobre todo en los miembros inferiores, una disminución de la afinidad cálcica de las proteínas contráctiles y, además, una modificación de la proporción existente entre fibras lentas y rápidas, todo ello con relación al suelo. Otros autores barajan teorías de componente músculo-molecular, y cambios en el control nervioso a nivel de la placa motora (unidad básica funcional neuro-muscular). Las complicaciones post-vuelo más comunes que aparecen en torno a este problema son: la tolerancia ortostática, reducción del estado físico general y la capacidad para efectuar ejercicio.

Variaciones en la Hematología

En relación con las modificaciones en la distribución y disminución, en términos de volumen, por parte de los líquidos corporales, se origina lo que se denomina la "anemia espacial"

en el transcurso de los vuelos espaciales tripulados.

Las pérdidas de la masa celular roja (hematíes) fue evidenciada en los astronautas americanos, en una proporción del 10 al 15%, con descensos en la cantidad de hemoglobina del orden del 12 al 33%. Las pérdidas de volumen se cuantificaron entre un 4-16%; estos datos ponen en evidencia unas alteraciones que también han sido objetivadas durante los vuelos soviéticos; incluso, han llegado a ser mayores en orden de cuantía, en razón a la mayor permanencia de sus cosmonautas en el espacio.

No existen informes que sugieran que la referida "anemia" haya tenido alguna repercusión o impacto clínico en la salud y ejecución de los trabajos propios de la tripulación, bien en vuelo o post-vuelo.

No obstante, es necesario llamar la atención sobre el hecho de la potenciabilidad de constituir un grave riesgo. Las enfermedades en vuelo, lesiones, hemorragias o un incorrecto funcionamiento por parte de los sistemas de soporte de vida, podrían poner en grave compromiso la salud de la tripulación. Por un lado, la disminución del volumen respecto a los líquidos corporales en microgravedad, y por otro, el de la cantidad de hematíes crítica, actuarían de forma sumatoria y podrían requerir una transfusión urgente en pleno vuelo.

Continúa siendo todavía una incógnita, las alteraciones del sistema hematopoyético (órganos que intervienen en la producción de los elementos formes de la sangre) en los vuelos de muy larga duración. Llegar a conocer los factores que intervienen es objeto de la investigación actual. Sería interesante averiguar si existe algún punto de no retorno que hiciera irreversible el proceso adaptativo.

Hoy por hoy, constituye un problema a tener en cuenta bajo

la óptica médico operativa, en relación con el almacenamiento de sangre, sustitutivos y transfusiones durante el vuelo.

El Sistema Inmunológico

Los cambios constatados dentro de esta parcela médica han sido los siguientes: un aumento en el número de neutrófilos (glóbulos blancos encargados de ejercer la primera barrera defensiva ante agresiones micro-

bianas), y una disminución en la cantidad de linfocitos (glóbulos blancos que tienen por misión la defensa específica retardada) tanto a nivel humoral como celular.

Evidentemente, estas alteraciones pueden repercutir negativamente en el equilibrio que se mantiene en el interior del organismo respecto de la microflora habitual, pudiendo aumentar la sensibilidad para padecer infecciones, sobre todo en las misiones prolongadas, así como

la ruptura en el balance microbiano a nivel intestinal, con el riesgo de posibles cuadros de constipación y diarrea.

Finalmente, queda abierta la incógnita de las posibles repercusiones al regreso a la Tierra. Después de misiones futuras en la Luna o Marte, al estar en situación de baja exposición a agentes microbianos, la susceptibilidad para padecer un proceso infecto-contagioso sería un riesgo añadido a las defensas específicas disminuidas.

CUADRO N.º 2

LA INVESTIGACION BIOMEDICA ESPACIAL

La Agencia Espacial Europea (E.S.A.), de la cual España forma parte, suscribió junto con la NASA, NASDA (Agencia Japonesa del Espacio) y la Agencia Canadiense un acuerdo de cooperación para la creación de la futura Estación Espacial Internacional "Freedom". La ESA para tal fin desarrolla varios programas espaciales propios que quedan recogidos en el gráfico n.º 1. Estos proyectos proporcionarán a la comunidad científica biomédica una gran fuente de recursos para investigación y se acoplarán al Programa de Microgravedad que la ESA viene ya desarrollando.

El P. de Microgravedad tiene por objetivo promover la investigación en los diferentes campos científicos, entre ellos, el grupo de CIENCIAS DE LA VIDA (Biología, Fisiología, Farmacología, etc.), para ello proporcionará a los diferentes Estados miembros las oportunidades de vuelo en las instalaciones y facilidades de mulluso que la Agencia disponga.

La ESA para llevar a cabo este programa de microgravedad dispone de las oportunidades de vuelo que le brindan las misiones tripuladas, como son: Vuelos Parabólicos, SPACELAB, EURECA, COLUMBUS, HERMES, Shuttle "get-away specials".

Es lógico pensar, que los hallazgos fisiológicos hasta ahora detectados, se verán potenciados con las provisiones investigadoras para el sector biomédico espacial. La intencionalidad de trabajar e investigar de manera permanente en el espacio es ya una realidad, un gran grueso de las observaciones a llevar a cabo versarán sobre las Ciencias de la Vida en todas sus modalidades. En el gráfico n.º 2 queda reflejado las áreas que cubren los experimentos seleccionados del Proyecto Anthrorack (experimentación en fisiología humana) que serán puestos en órbita en la misión SPACELAB D2.

Resulta triste resaltar la ausencia española en dichas investigaciones y experimentos. El poder realizar en el futuro alguna actividad de este tipo pasa inexorablemente en crear un mínimo armazón que desarrolle y coordine los posibles núcleos investigadores de la nación, que muchas veces por desconocimiento y carentes de una información apropiada permanecen alejados de áreas que estiman intangibles. ●

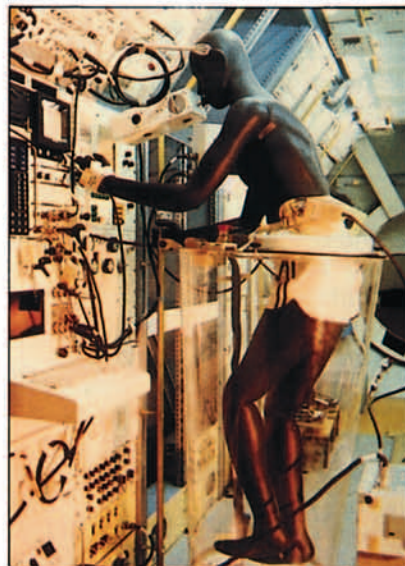
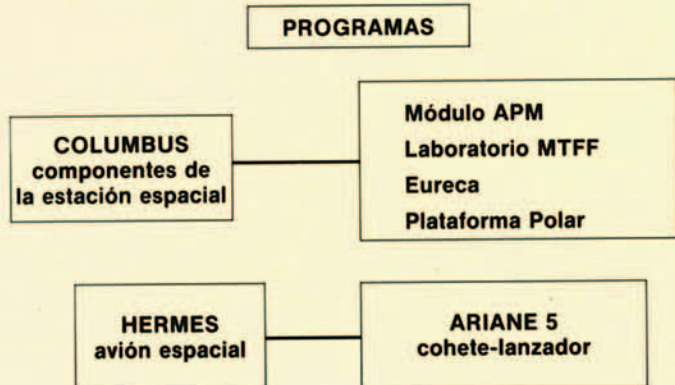
GRAFICO N.º 2 PROYECTO ANTHORACK

(Módulo compacto para experimentación en Fisiología Humana).

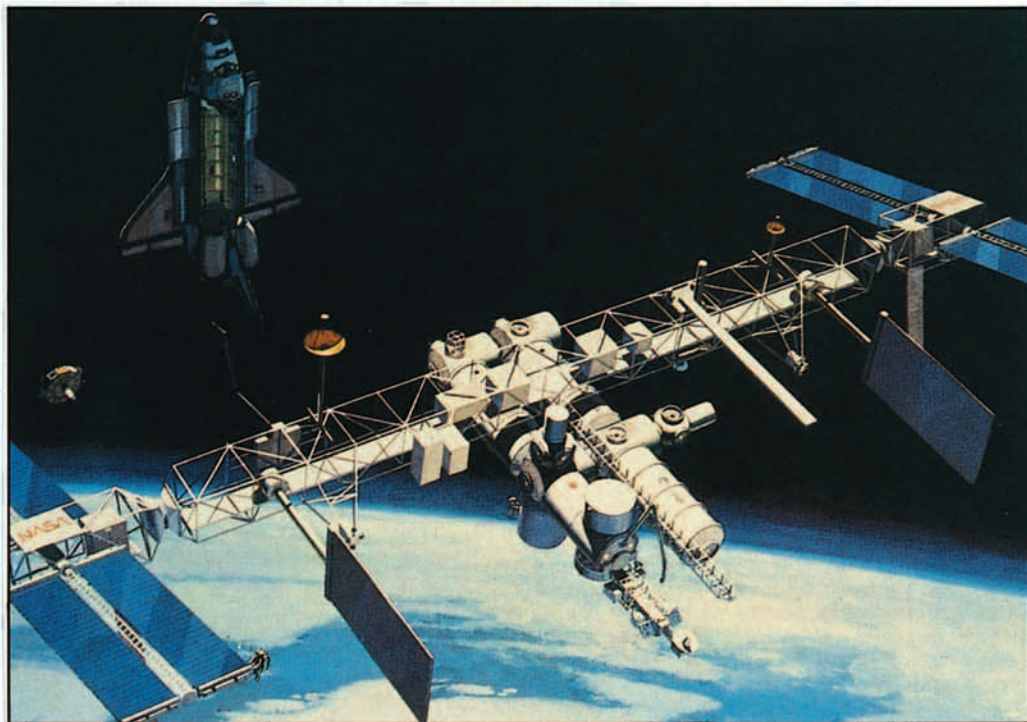
- El Proyecto engloba 21 experimentos europeos integrados en 3 grandes grupos de investigación cardiovascular, pulmonar y hormonal.
- Está dotado de:
 - Sistema de Registro Respiratorio.
 - Sistema de Registro Ultrasónico.
 - Equipos de Estimulación y Ejercicio.
 - Dispositivo de LBNP.
 - Bicicleta Ergométrica.
 - "KITS" para determinaciones y análisis.
 - Conjunto de congelador y centrífuga para conservación de orina y sangre.

GRAFICO N.º 1

Programas de la E.S.A. Relacionados con la Estación Espacial Internacional "FREEDOM"



El Proyecto Anthrorack será puesto en órbita en la misión SPACELAB D2, contempla una serie de experimentos relacionados con la Fisiología Humana.



La Estación Espacial Internacional albergará módulos acoplados de diferentes Agencias Espaciales, su puesta en órbita está prevista para final de este siglo.

El Sistema Neurovestibular

Constituye este apartado, uno de los tópicos que más atención acapara tanto en la Medicina Aeronáutica como Espacial. El llamado "Mal de Transporte" o cinetosis, originado por el movimiento y más exactamente por las aceleraciones, se ve complementado en el caso del "Mal del Espacio" por la acción sumatoria de la microgravedad.

Todo ello, en conjunto, produce unas alteraciones clínicas que, si bien, no son de grave repercusión clínica, generalmente sí afectan de una manera elevada a los componentes de la tripulación, sobre todo en los primeros días. El famoso "MOTION SICKNESS", término anglosajón, tiene una fisiopatología un tanto complicada. Hay una serie de elementos que intervienen en el análisis del movimiento y el equilibrio: oído interno (canales semicirculares, utrículo, sáculo, endolinfa), el órgano de la visión, núcleos nerviosos, centro del vómito, hipófisis; todos actúan de una forma compleja e

integrada dentro de contexto de la percepción propia espacial. Cuando existe disparidad entre la información sensorial por parte de ellos, surgen los llamados conflictos neurosensoriales de interpretación y análisis. En función de la severidad del desajuste interno se produce la aparición de una sintomatología clínica acompañante. A todo este entramado habría que añadirle, en un segundo plano, otros condicionantes de componente psicológico, olfativo y auditivo que pueden potenciar el cuadro.

En el espacio, además de las contradicciones sensoriales ya observadas en el ámbito aeronáutico, se suma la proveniente del estado de ingravidez, como es la información específica de los otolitos y alteraciones hemodinámicas ya reseñadas anteriormente. Las aceleraciones lineales y angulares, la microgravedad, y por ende, la ausencia de acción sobre otolitos, se unen a los componentes subjetivos, provocando en un 50% de los miembros de la tri-

pulación el estado clínico típico de la cinetosis (dolor de cabeza, apatía, vómitos). Este suele revertir paulatinamente a partir de las 36 a 48 horas. En los últimos años, por parte de la escuela soviética, se ha especulado con una teoría de índole circulatoria cerebral. Para Matveev, el fenómeno estaría causado principalmente por el desarrollo de una isquemia venosa y de una hipoxia cerebral. Esa hipótesis ha servido para la elaboración de métodos de estudio y de prevención (normalizar la oxidación biológica del cerebro y sedación sobre las funciones psíquicas).

Actualmente, como profilaxis, se emplea el uso de bloqueantes de los receptores colinérgicos, y entre ellos, la escopolamina es uno de los más recomendados junto con la efedrina. Por último, subyace el fenómeno de la readaptación una vez finalizada la misión; pequeños movimientos de cuello y cabeza, una vez en tierra, desencadenan cuadros cinetósicos de cierta envergadura. ■



Las frecuentes analíticas ayudan a determinar los diferentes cambios que experimentan las constantes sanguíneas.

NOTICIAS

- Symposium AGARD/AMP sobre "riesgos oculares en vuelo y medios para remediarlos".

Londres, 22-26
de octubre de 1990

- Avance Symposium AGARD/AMP sobre "protección de la tripulación aérea militar ante altitud y aceleración elevadas".

Izmir, primavera 1991

- Forum europeo EURO-TECH-AIR sobre investigación tecnológica aeronáutica europea.

Toulouse, 13-15
de noviembre de 1990

Información general:

Dr. M. C. Gutiérrez. Delegación española AGARD/INTA.
P.º Pintor Rosales, 34
28008 - Madrid

BIBLIOGRAFIA

- Alexandre C.: Os et Apesanteur, LBTO Université de St. Etienne Hôpital Nord, France, 1985.
- Bande J., Comet B., Díaz J., Kuklinski P., Oser H.: Proposed Medical Criteria for Selection of Candidate European Astronauts, ESA, Astronaut Medical Criteria Working Group, December 1989.
- Bungo M.W., Charles J.B., Johnson Ph.C.: Cardiovascular deconditioning during space flight and the use of saline as a countermeasure to orthostatic intolerance. *Aviation and Space Environ. Med.*, 1985, 56, 985-990.
- Charles J., Bungo M.: Cardiovascular research in space: consideration for the design of the human research facility of the U.S. Space Station. *Aviat. Space and Environ. Med.*, 1986, 46, 1000-1005.
- CNES-Hermès: Critères médicaux de sélection et d'expertise annuelle des spationautes français, H SG 2 10 CNE, novembre 1989.
- Crebassol D.: Lower Body Negative Pressure (LBNP) et Modifications Cardiovasculaires, *Memoire de Medicine Aeronautique et Spatiale*, Toulouse 1986.
- Egorov A.D., Anachkin O.D. & cols.: Résultats d'investigations médicales menées en 1985 lors de vols spatiaux de longue durée. *Kosm. biol. i aviatsion med.*, 1988, 1, 24-29.
- Güell A., Braak L.: Le Syndrome de Déconditionnement cardiovasculaire au cours des vols spatiaux. *Ann. Cardiologie et D'Angéiologie* 1989, 8, 499-502.
- Hargens A.R., Tipton C.M., Gollnick P.D. & cols.: 1983, Fluid shifts and muscle function in humans during acute

- simulated weightlessness. *J. Appl. Physiol.* 54, 1003-1009.
- Johnson P.C.: Fluid volumes changes induced by space-flight, *Acta Astronautica* vol. 6.
- Katkov V.E., Chestuklin V.U., Kakurin L.I.: Coronary circulation of the healthy man exposed to tilt tests, LBNP, and head-down tilt, *Aviation and Space environmental Medicine*, 1985, vol. 56, n. 8.
- NASA contractor Report 3795: Research Opportunities in Bone Demineralization, Bethesda 1984.
- Nicogossian A.E.: Space Medicine and Physiology, Washington NASA SP-447, 1982.
- Sandler H.: Cardiovascular Effects of Weightlessness and Ground-Based simulation, NASA Technical Memorandum 88314, June 1988.
- Sawin C.F., Nicogossian A.E., Rummel J.A., Michel E.L.: Pulmonary function during the Skylab and Apollo-Soyouz missions. *Aviat. Space and Environ. Med.* 1976, 47, 168-172.
- Space Physiology, ESA SP-237., Noordwijk 1985.
- Space Science in the twenty-first Century: Imperatives for the Decades 1995 to 2015. Life Sciences, National Academy Press 1988.
- The Gravity Relevance in Bone Mineralisation Processes - ESA SP-203, 1984, Estec, Noordwijk, The Netherlands.
- Third European Symposium on Life Sciences Research in Space, 14-18 september 1987, Karl Franzens Universität Graz, Austria ESA SP-271, Noordwijk 1987.