

DEDUCCIONES FISIO-PATOLOGICAS DE LA AUSENCIA
DE PESO CRONICA

James G. Gaume, M.D.

Chief, Life Support Systems
The Martin Marietta Corporation
Denver Division, Denver, Colorado

Los efectos de la ausencia de peso crónica del cuerpo humano son los más difíciles de evaluar de todos los problemas médicos que encontrará el hombre durante el vuelo espacial. Mucha investigación se ha efectuado sobre los efectos de los períodos sin peso, pero todos los experimentos que se han hecho hasta la fecha han tenido que hacer con los efectos agudos, y es peligroso aplicarlos a los efectos crónicos. Actualmente, la probabilidad de la ausencia de peso durante largos períodos se está acercando a la realidad y con ella se han presentado nuevos problemas fisiológicos y médicos a la comunidad de investigación biomédica.

En la investigación médica terrestre, la simulación de los factores de tensión no es difícil en comparación con la simulación de la ausencia de peso. El ambiente de ausencia de peso crónica sólo se puede producir actualmente, colocando un satélite en una órbita terrestre y no por cualquier método sustituto disponible en la tierra. Sin embargo, el costo y el riesgo de colocar especímenes biológicos o sujetos humanos en órbita son demasiado grandes para la investigación de rutina. Por tanto, se deben emplear en tierra sustitutos aproximados aceptables, para analizar teóricamente los posibles efectos de la ausencia de peso crónica. Por consiguiente, es mejor que estemos preparados para idear experimentos eficientes que se han de efectuar en órbita, en un ambiente verdadero de ausencia de peso, a fin de obtener así mayor cantidad de datos útiles por el dinero invertido.

Hay dos situaciones que se pueden producir en tierra, que deberán suministrar datos fisiológicos valiosos para la predicción de los efectos de la ausencia de peso durante largo tiempo. Estas situaciones son:

1. El descanso prolongado e inactivo en cama; y
2. La suspensión prolongada e inactiva del cuerpo en agua.

La inactividad en las tres situaciones -- descanso en cama, suspensión en agua y ausencia de peso -- se especifican con el fin de establecer una línea básica, un factor común, para que sea más fácil entender lo que se debe hacer para evitar esos efectos.

Al llegar aquí, parece conveniente hacer un breve repaso de lo que se ha hecho y lo que se está haciendo.

Se determinó mediante cálculos que se puede lograr la ausencia de peso intermitente en aviones que vuelen en una trayectoria parabólica del tipo de "montaña rusa". El período logrado en la parte superior de la parábola fue determinado por el funcionamiento del avión usado. Un avión T-33 de propulsión a chorro, podría lograr aproximadamente 33 segundos; el F-94, más o menos 44 segundos; el F-100 60, segundos y el F-104, alrededor de 80-90 segundos. Al comienzo del programa sólo se

disponía del avión T-33 y del F-94 como vehículos para efectuar experimentos con seres humanos.

Se enviaron animales en proyectiles dirigidos experimentales como el Aerobee, el Viking, el Redstone, cosa que también hicieron los rusos, para obtener períodos más largos de ausencia de peso hasta de varios minutos. Esto ocurrió después de la quema final del combustible del proyectil, durante el vuelo del cono de proa, hasta que la resistencia al avance producida por el aire comenzó a disminuir la velocidad de reentrada del vehículo al entrar éste a la atmósfera más densa, creando así una fuerza "g", que aumentó con el descenso hasta que se alcanzó la velocidad final durante la reentrada. Más recientemente, se han colocado animales en órbita alrededor de la tierra, los cuales fueron recuperados tanto por los Estados Unidos como por Rusia.

Estos primeros experimentos revelaron que varios minutos de períodos sin peso no tienen efectos apreciables sobre los animales, fuera de los efectos transitorios de variación en el movimiento del corazón y el sistema respiratorio y que se observó que los animales normales se sentían confundidos en lo que respecta a la posición en que se encontraban, pero que los que habían sido sometidos a una laberintoctomía no sufrían confusión a este respecto.

Por otra parte, los sujetos humanos mostraron gran variedad de reacciones -- algunos tuvieron náusea o se sintieron desorientados, mientras que otros no. Unos cuantos se alborozaron por el período sin peso, pero a otros les gustó la sensación. El mayor porcentaje de sujetos estaba comprendido entre estos extremos. Estos efectos positivos eran sin lugar a dudas psicológicos y fisiológicos.

En su vuelo en que superó la marca de altitud y que llegó a los 126,000 pies en un avión X-2, el Capitán Ivan Kincheloe experimentó un período sin peso de aproximadamente dos minutos. El declaró que, subjetivamente, no se dió cuenta de ese hecho. El análisis de los datos después del vuelo indicó que había pasado por un período sin peso

Se pudo constatar, además, que el hombre puede aprender a adaptarse rápidamente a la ausencia de peso en la actividad psicomotora, para usar sus músculos en tareas determinadas. Puede comer y beber y hasta evacuar, aun cuando las primeras tentativas no tuvieron éxito.

En grandes aviones tales como el bimotor de transporte C-131 y el KC-135 convertido en avión cisterna de propulsión a chorro, se pueden obtener respectivamente períodos de más o menos 20 y 30 segundos. Las cabinas más grandes permiten que los seres humanos tengan más libertad de movimiento. Muchos problemas se han estado y se continúan investigando en estos aviones. Estos incluyen métodos de fijación para caminar (copas de succión en los zapatos, zapatos magnéticos, suelas y superficies para caminar de tela Velcro).

También se debe aprender a mover el cuerpo a través del espacio sin peso. Los diferentes medios de locomoción investigados fueron la fuerza muscular del mismo individuo, el uso de pistolas a chorro sostenidas en la mano para impulsar el cuerpo, y la manera de mantener la posición correcta del cuerpo durante el movimiento. En ambos casos el vector de empuje debe estar alineado con el centro de la masa del cuerpo para evitar una caída. Algunas veces es conveniente cierta cantidad de rotación. ¿Cómo se controla esta rotación mediante estos métodos de locomoción?

Se ha investigado el uso de herramientas en condiciones de cero gravedad. Estos experimentos han suministrado datos que se usarán en el diseño de herramientas especiales para emplearlas en el período sin peso y para determinar los métodos de fijación de todo el cuerpo, de modo que el trabajador no gire en vez del perno, la tuerca o el tornillo. Otros proyectos incluyen la discriminación de masa, el manejo de materiales voluminosos, estabilizadores giroscópicos personales y los dispositivos de aseguramiento.

Algunos de los problemas fisiológicos y psicológicos que se están investigando incluyen las reacciones subjetivas de rotación, el cálculo del tiempo, la percepción del estímulo de una "fracción g", el comportamiento reflejo, las reacciones respiratorias y cardiovasculares, el diseño y movilidad del traje, los efectos de la reacción electroencefalográfica, y la reacción galvánica de la piel, la deformación retiniana y muchos otros.

Estos aviones son lo suficientemente grandes para permitir la investigación simultánea de muchos problemas, incluyendo la transferencia del calor, la ebullición de los líquidos y la prueba de varias clases de equipo para verificar su eficiencia de operación en los períodos sin peso, y mucho otros. La lista es ya demasiado larga para poderla incluir en esta corta conferencia.

VUELOS EN VEHICULOS TRIPULADOS DE LOS ESTADOS UNIDOS Y RUSIA

Los vuelos de Shepard, Grissom, Gagarin y Titov han demostrado que el hombre tendrá poca o ninguna dificultad para tolerar pequeños períodos sin peso. Ni Shepard ni Grissom sufrieron aparentemente efectos nocivos por la ausencia de peso durante períodos de varios minutos, ni tampoco los tuvo Gagarin después de más de una hora. Sin embargo, el vuelo de Titov, durante el cual experimentó un período de sin peso de aproximadamente veinticuatro horas, empezó a revelar algunos efectos significativos.

Después de aproximadamente tres horas en órbita, Titov sintió náusea, sensación ésta que se le agravaba al virar bruscamente la

cabeza. Cuando Titov dormía y después del sueño, la náusea disminuía, pero persistió hasta que los cohetes de retroceso fueron disparados para sacar de órbita el vehículo. Este es un punto importante -- al no actuar la fuerza de gravitación a que estamos acostumbrados, sobre los receptores sensorios, se puede presentar alguna reacción adversa. Si esto es cierto, ¿permitirán las diferencias individuales de la tolerancia al estado de gravedad inexistente, que algunos individuos se adapten al medio ambiente? Titov sufrió náusea aproximadamente después de tres horas. ¿Seguirá Glenn este mismo plan? Si es así, ¿hay algún umbral de tiempo para que esta reacción se inicie? De no ser así, ¿era Titov simplemente un individuo susceptible y una excepción a la regla? Y, ¿existe otro umbral de tiempo en el cual el astronauta corriente se adaptará y vencerá la náusea? Sólo un número válido estadísticamente de sujetos que hayan experimentado la ausencia de peso por lo menos durante varias horas o días podrá dar respuesta a estas preguntas.

Hay varios factores que pueden haber contribuido a la náusea de Titov. La explicación más probable es trastornos vestibulares, pero podrían ser también desórdenes visuales, gastrointestinales y la falta de estímulo exteroceptivo normal de las partes físicas del cuerpo.

El apetito de Titov fue también inferior a lo normal. Comió sus alimentos a las horas señaladas, pero aparentemente con menos fruición que en la tierra.

La pérdida de tolerancia a la fuerza de la gravedad después de haber estado en un período sin peso, ha sido un asunto bastante debatido. Todavía no se le ha encontrado respuesta, ya que los rusos han declarado que el vuelo de Titov fue demasiado corto y que se sintió mejor al retornar a una fuerza-g al comenzar la maniobra que lo sacó de órbita.

AUSENCIA DE PESO CRONICA

Yo he expresado antes que el hombre tendrá muy poca o ninguna dificultad para tolerar los períodos cortos de ausencia de peso. Esto implica que puede haber diferencias significativas en la reacción humana a períodos sin peso de corta y larga duración. Esto es completamente cierto! Primero, ¿en qué punto, en términos de tiempo, está la línea divisoria entre corto y largo? Esta pregunta tampoco ha sido contestada. Esta línea divisoria puede muy bien variar de acuerdo con la función fisiológica que se considera.

Por ejemplo, sabemos que todos los astronautas mencionados tuvieron intercambio de gases en los pulmones, pues de lo contrario no hubieran sobrevivido. El intercambio de los gases fue también adecuado en el

nivel capilar durante los períodos de tiempo en consideración. Pero, ¿habrá algún efecto apreciable en el intercambio de gas en los pulmones o en el nivel de los tejidos después de una semana, dos semanas o dos meses?

De manera similar, ¿se alterará en forma significativa el equilibrio de nitrógeno o minerales después de uno, cinco, diez o cien días? ¿Padecerá el astronauta de cálculos renales? ¿Qué ocurrirá al volumen total de la sangre después de uno, tres o seis meses de ausencia de peso? ¿Habrá un cambio significativo en la presión de la sangre o el volumen de la sangre en distintas partes del cuerpo? ¿Y cómo se alterará la fisiología gastrointestinal? Hay literalmente docenas de preguntas concernientes a las complicaciones producidas por la ausencia de peso. ¿Cómo podemos obtener alguna información pertinente en relación con los cambios significativos de las funciones fisiológicas normales del cuerpo, cuando hay ausencia de peso crónica?

Los dos ambientes hipodinámicos ya mencionados, a saber, el descanso en cama y la suspensión en agua, pueden, si se analizan teniendo en mente la ausencia de peso, suministrar información pertinente que será útil para predecir los efectos de la ausencia de peso y planear los experimentos que se deban efectuar en los satélites. Analicemos cada uno de ellos y veamos cómo estas situaciones de poco riesgo y bajo costo, pueden servir para resolver los problemas del vuelo espacial.

El descanso en cama. Los organismos vivos son sistemas adaptables peculiares. Si se aplica una nueva tensión a un ser viviente, él hace ajustes internos para poder vivir con esa tensión. Si una tensión se elimina, también ocurren adaptaciones motivadas por su ausencia. En un caso puede agregarse tejido al sistema y en el otro es posible que se quite tejido. La clave de este análisis es el hecho de que en la función normal, "el cuerpo retiene lo que necesita y descarta lo que no necesita". Sus necesidades se rigen por la suma de la tensión aplicada sobre todo el organismo.

El descanso prolongado inactivo en cama tiene muchas semejanzas con la ausencia prolongada inactiva de peso, cuando se examina a la luz del principio básico antes enunciado. Algunas de éstas son:

1. Los músculos no se usan. Durante el descanso en cama ocurre un equilibrio negativo de nitrógeno en sólo 5 a 6 días. También ocurren equilibrios negativos con respecto al azufre, al sodio y al potasio.
2. Los huesos se desmineralizan y el calcio y el fósforo se excretan en mayores cantidades. Existe una tendencia a la formación de cálculos renales, debido al aumento de la excreción de calcio y fósforo y éstasis relativa de la orina.

3. La actividad gastro intestinal disminuye. La actividad secretoria y la peristalsis son menores, Las dietas grasosas producen enterogastrona, que demora el vaciado del estómago (no puede relajarse y vaciarse). Sobreviene la constipación y, ocasionalmente, ocurre retención de los alimentos, con náuseas y vómitos en algunos casos.
4. El volumen total de la sangre disminuye en 500 cc en un mes. Se requiere menos sangre y, por lo tanto, se elimina el exceso. Lo expuesto es la clave de muchas preguntas fisiológicas, ya sea que estén relacionadas con un campo de gravedad o a un campo de cero gravedad.
5. El metabolismo disminuye generalmente en todo el cuerpo. El consumo de oxígeno es un 7-8% menor, el metabolismo basal se reduce a 1-4.3 calorías por metro cuadrado por hora. El equilibrio de nitrógeno es usualmente negativo, a pesar de una admisión de proteína adecuada, y es posible que no se restablezca hasta de 6 a 8 semanas después de la terminación del período de descanso. Las pruebas del funcionamiento del hígado indican deterioro del parénquima del hígado. El almacenamiento de creatina muscular es menor, de lo cual es indicación una tolerancia menor de creatinina durante la inmovilización. Un investigador (Blotner) encontró una disminución en la tolerancia a los carbohidratos.
6. Los efectos cardiovasculares incluyen el deterioro de las reacciones cardiovasculares a las tensiones, que se manifiestan al ponerse de pies por palpitaciones, taquicardia, vértigo, disnea y disminución de la tolerancia al esfuerzo muscular. No se revelan cambios apreciables en la presión arterial, la velocidad de la sangre y el electrocardiograma. Sin embargo, el tamaño total del corazón es menor y disminuye. El volumen de la sangre disminuye en aproximadamente 500 cc y se observa una presión venosa periférica menor. Ocasionalmente, al bajar la presión de la sangre al ponerse la persona de pies, se observan arritmias cardíacas, aun en sujetos "normales". Al levantarse después de un descanso prolongado, se presentan a veces hemorragias en los pies y los tobillos, debidas al aumento de la fragilidad capilar.
7. La necesidad de sueño se reduce. Todos vosotros habéis tenido pacientes que se quejan de que no duermen bien cuando han permanecido en el hospital durante largos períodos. De esto no son responsables solamente el ruido y la rutina del hospital, sino también que los períodos de sueño son más cortos, más ligeros y casi suficiente, porque se necesita menos sueño.
8. El sistema nervioso. La pérdida de la función de control en los vasos periféricos de las extremidades inferiores y otras partes del cuerpo indican algunos disturbios neurales como parte de un síndrome total de deterioro.

9. Sistema génito urinario. Durante el descanso en cama, la excreción de calcio aumenta al comenzar la segunda semana de confinamiento; el término de pérdida de aproximadamente 11 gramos, puede sobrepasar la excreción normal durante tres a cuatro semanas después de la movilización.

Otros factores son éstasis urinario, dificultad en la evacuación, con eliminación incompleta de la vejiga cuando se está en posición inclinada, infección, pH elevado (exceso de calcio o ceniza alcalina en la dieta), y bajo porcentaje de ácido cítrico en la orina.

Las funciones renales tanto en los glomérulos como en los túbulos probablemente se comportan en forma igual o similar a la función capilar-celular en otros tejidos, cuando se encuentran expuestos a un ambiente en el cual existe ausencia de peso. Debemos suponer que es así por ahora, porque no hay prueba experimental respectiva. Sin embargo, hay pruebas de que se afecta la función de la vejiga, y esta evidencia puede echar por tierra la teoría aceptada sobre la iniciación del mecanismo reflejo de la micción.

Las primeras tentativas de micción en condiciones de ausencia de peso fueron hechas por sujetos que tenían la vejiga incómodamente llena, en un avión F-94 de propulsión a chorro. Estas tentativas fracasaron durante el período sin peso del vuelo. Por otra parte, los sujetos encontraron que era casi imposible evitar la micción durante los restablecimientos de 3-g de la trayectoria de vuelo parabólico. Téngase presente que estos dos extremos en la gravedad ocurrieron en menos de dos minutos, de modo que no hubo cambio apreciable en el volumen y el estiramiento de la vejiga. Esto indica que, como la única variante que entró en acción fue el factor g o el peso del contenido de la vejiga, debía haber presente un factor que no se había tenido en cuenta antes en teoría en el mecanismo de la micción. Este factor es el "peso del contenido de la vejiga" sobre algún receptor que se encuentra en la parte inferior de la vejiga, ya sea en el trígono o en la porción más pequeña del trígono en la abertura uretral, que es la parte más dependiente de la vejiga. Si esto es cierto, entonces el deseo de orinar debe ser causado por la cabeza de presión sobre estos receptores en la base de la vejiga. La cabeza de presión está determinada por dos factores:

1. La presión ejercida por la columna del líquido sobre un área dada que contienen estos receptores; y,
2. El aumento en esta presión producido por la tonicidad y la resistencia al estiramiento del músculo detrusor.

Para determinar la importancia de la gravedad en la micción, se hizo un experimento sencillo. Se dejó que la vejiga se llenara de

nuevo hasta el nivel incómodo anterior. Se colocó al sujeto parado sobre su cabeza para que tratara de vaciar la vejiga. La teoría era que si la gravedad o el peso del contenido de la vejiga era más importante, esta posición debería producir una "g" negativa con respecto al peso del contenido de la vejiga, estimulando así los sensores que presumiblemente se encuentran en la base de la vejiga. Si el sujeto podía vaciar con facilidad, la resistencia y la presión abdominal eran las más importantes. Si los sujetos no podían vaciar libremente y lo encontraban difícil, entonces la presencia de los sensores de peso era el factor importante. Los sujetos encontraron que el deseo de vaciar mientras se encontraban parados sobre sus cabezas desaparecía completamente. Solamente uno de los primeros cuatro sujetos pudo vaciar encontrándose en posición invertida. La vejiga se encontraba tan distendida tanto en la posición invertida como en la normal, lo cual indicaba la presencia de sensores de gravedad en la base de la vejiga.

Esto en ninguna forma está en desacuerdo con las teorías aceptadas sobre la micción, excepto que el reflejo es primordialmente iniciado por el estímulo de los receptores que se encuentran en la base de la vejiga y no por el estiramiento de la pared de ésta. Tampoco parece haber ningún conflicto en relación con los mecanismos de la fisiología patológica.

Al aumentar el número de sujetos usados en los experimentos de vuelos en aviones de propulsión a chorro, se encontró que más o menos el 75% podía vaciar durante el período sin peso. Los vuelos de Shepard, Grissom y Gagarin fueron muy cortos para que hubieran sentido deseos eliminatorios. Con respecto al vuelo de Titov que duró más o menos 24 horas a gravedad cero, se nos ha dicho sencillamente que no tuvo dificultad.

Por lo tanto, observamos que a menudo podemos entender mejor una función normal en circunstancias ordinarias eliminando un factor que ha sido dado por hecho durante tanto tiempo, que desconocemos su papel real. ¿Cuántas otras funciones fisiológicas del cuerpo dependen de la gravedad, ya sea total o parcialmente? Es difícil de contestar hoy; pero cuando tengamos laboratorios tripulados en el espacio en un ambiente sin peso, podremos llevar a cabo estudios a largos plazos, y entonces sabremos mejor cómo usar la gravedad en el tratamiento de las enfermedades terrestres. Por ejemplo, en las condiciones cardíacas, el tratamiento por ausencia de peso podría ser peor que el descanso en cama. Los pacientes con infartos del miocardio y con deficiencias miocárdicas parecen reaccionar mejor después que han pasado la fase aguda de la enfermedad, con una actividad física prescrita, de acuerdo con la tolerancia del paciente.

La inmersión en el agua. Todos estos efectos del descanso prolongado en cama también ocurren y en forma más severa en el estado hipodinámico de la inmersión en agua, en la cual el factor de gravedad se elimina de los huesos y los músculos y de todo el cuerpo. Hay algunos efectos del descanso en cama y la inmersión en agua que se pueden comparar a los efectos de la gravedad cero sobre las mismas funciones. Otros efectos del descanso en cama, como la formación de trombos venosos, llagas producidas por la cama, congestión hipoestática y otros efectos debidos a la presión y la restricción circulatoria no se esperan constituyan problemas en condiciones de ausencia de peso o en la inmersión en el agua.

Graveline, durante su experimento de suspensión en el agua, resultó más severamente incapacitado después de estar una semana en el agua que lo que hubiera estado después de una semana en cama. Pocos efectos debilitadores se observaron durante el período real de inmersión. Graveline, también observó un aumento no explicado en el recuento de leucocitos y un elevado hematocrito, así como también cierta disminución en el desempeño de tareas complejas. Esto último puede ser grave en un estado hipodinámico prolongado durante largos períodos, aun cuando se esté todavía en ese estado.

¿Puede el hombre permanecer en el espacio en condiciones de ausencia de peso durante más de unos cuantos días? ¿Qué se deberá hacer para evitar consecuencias como las indicadas?

Yo creo que se pueden idear medios que permitan que el astronauta viaje al espacio y regrese con seguridad, sin sufrir estas consecuencias fisiopatológicas que ocurren en el descanso en cama y la suspensión en el agua. Los primeros astronautas deberán ser jóvenes vigorosos que normalmente no estén satisfechos con la inactividad. Por lo tanto, será relativamente fácil para ellos seguir el programa de ejercicios prescrito, especialmente cuando tiene como finalidad el evitar las posibles reacciones que causan incapacidad al regresar a la tierra, si no cumplieran dicho programa.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL CUERPO DURANTE AUSENCIA DE PESO

Como estos cambios antes mencionados ocurren en estados hipodinámicos que se presentan fácilmente en la superficie de la tierra y como este ambiente en la tierra todavía suministra gravedad que actúa sobre el cuerpo aun cuando menor que o diferente de lo normal, se deduce que la remoción completa de la gravedad puede producir estos cambios más rápidamente y a un grado mayor. Además, estos cambios son en gran parte el resultado de actividad muscular insuficiente. Por lo tanto, la respuesta a nuestra preguntas está en idear un programa de ejercicios que se deben ejecutar mientras el individuo se encuentran en el medio ambiente del período sin peso. Este programa debe suministrar suficiente trabajo muscular para reemplazar el que se lleva a cabo al mover el cuerpo en la tierra trabajando contra la gravedad, más ejercicios especiales suficientes para lograr un acondicionamiento específico.

El acondicionamiento muscular no deberá ser difícil. Los músculos opuestos se ponen a trabajar unos contra otros, ya sea en contracciones isométricas o isotónicas. Ejercitando rutinariamente todos los grupos de músculos del cuerpo parecería que muchos de los malos efectos del descanso en cama se podrían evitar. Las preguntas pertinentes son: ¿durante cuánto tiempo deberán trabajar los músculos y cuál deberá ser la intensidad de este trabajo? Esto, a su vez, se refleja en el consumo de oxígeno, el cual podría ser mucho más alto que las cantidades realmente usadas en el diseño práctico de los sistemas de conservación de la vida. Para determinar la clase, duración y la intensidad de los ejercicios incluidos en este programa, con anterioridad a la colocación de un hombre en órbita durante una semana, se necesitan estudios ulteriores, usando la inmersión en agua.

Para el mantenimiento de los huesos, se requerirán ejercicios destinados a colocar tensión de peso sobre los huesos largos. Cabe aquí de nuevo la pregunta de ¿cuánto, durante cuánto tiempo y cuán a menudo se debe aplicar la tensión? La aplicación puede ser en forma de agarraderas fijadas al piso (o a la pared) y forzando los pies contra esa superficie, mediante el uso del brazo, el hombro y los músculos de la espalda para aplicar la fuerza. Al mismo tiempo, los músculos contra gravedad trabajarán en dirección opuesta.

La gravedad artificial suministrada o ideada dentro del satélite puede lograr el mismo objetivo. De nuevo, ¿cuánta gravedad? ¿Deberá ser ésta constante o podría ser intermitente? ¿Necesitamos una "g" completa o sólo una fracción? ¿Qué fracción? La "g" aplicada muscularmente, que se acaba de describir, sería intermitente y probablemente fraccional. Todos, o casi todos los efectos potenciales de la ausencia de peso que se han enumerado, se pueden evitar teóricamente mediante ejercicios adecuadamente planeados, los cuales requerirían muy pocos

aparatos de acondicionamiento físico. Esto, a su vez, hará necesario un abastecimiento mayor de oxígeno, el empleo de sistemas más grandes para absorber el bióxido de carbono, para eliminar los olores, y un sistema eliminador de humedad más eficiente, ya sea para recuperar o quitar la humedad o un abastecimiento mayor de agua almacenada al comienzo del vuelo. Se deberá efectuar un exámen más cuidadoso de todos estos requisitos.

El tiempo de permanencia en el ambiente sin peso requerido para trastornar cada sistema orgánico del cuerpo puede variar considerablemente. El sistema vestibular y el tejido muscular pueden ser afectados primero, después los huesos, más tarde, el conducto gastrointestinal y así sucesivamente. Por lo tanto, deberá planearse un programa determinado de ejercicios para cada misión, dependiendo de su duración y de los sistemas del cuerpo que posiblemente sean más afectados durante ese período. Esto requiere un extenso y demorado programa de investigación tendiente a definir los requisitos para tales programas de acondicionamiento.

Algunos aspectos de la subgravedad o los estados de gravedad cero pueden beneficiar al astronauta. Por ejemplo será más fácil moverse en la luna donde el campo gravitacional es sólo 1/6 de la gravedad terrestre. Se puede recorrer una mayor distancia con la misma cantidad de oxígeno que se consumiría en la tierra para el mismo esfuerzo. Y cuando comencemos a edificar en la luna, se requerirán menos piezas de equipo pesado de construcción, porque el hombre puede mover por sí sólo mayores masas y pesos de materiales y, al mismo tiempo, ejecutar parte del ejercicio requerido para el mantenimiento preventivo.

RESUMEN

Se ha tratado de evaluar la validez de los datos obtenidos en los dos ambientes hipodinámicos de que disponen los investigadores terrestres, a bajo costo y poco riesgo. Estos son:

1. Descanso prolongado e inactivo en cama;
2. Inmersión prolongada e inactiva en agua.

Ninguno de estos dos medios simula con exactitud el estado de ausencia de peso que se encuentra en el espacio, pero si los experimentos y proyectos se llevan a cabo correctamente, se puede obtener mucha información útil que preparará al hombre mejor para la ausencia de peso crónica.

BIBLIOGRAFIA

1. ARDC Zero Gravity Survey, Directorate of Advanced Systems Technology, Wright Air Development Division, Wright Patterson AFB, Ohio, 1960.
2. Deitrick, J. E., Wheedon, D. G., and Schorr, E.: Effects of Immobilization Upon Various Metabolic and Physiologic Functions in Normal Men. *American Journal of Medicine*, 4:3, 1948.
3. Dock William: The Undesirable Effects of Bedrest, *Surg. Clin. N. Amer.*, 25:437, 1945.
4. Gerathewohl, S. J., Ritter, O.L., and Stallings, H. D.: Producing the Weightlessness, *Journal Av. Med.*, Vol. 22:180, 1951.
5. Gerathewohl, S. J., Strughold, H., Stallings, H. D.: Sensomotor Performance During Weightlessness, *Journal Av. Med.*, 28:7, 1957.
6. Graveline, D. E., Balke, B.: The Physiologic Effects of Hypodynamics Induced by Water Immersion, *School of Aviation Medicine, USAF Report No. 60-88*, septiembre 1960.
7. Haber, H., and Gerathewohl, S. J.: On the Physics and Psychophysics of Weightlessness, *Journal Av. Med.*, Vol. 22:180, 1951.
8. Haber, F., and Haber, H.: Possible Methods of Producing the Gravity-free State for Medical Research, *Journal Av. Medicine*, 27:5, 1951.
9. Hartman, B., McKenzie, R. E., Graveline, D. E.: An exploratory Study of Changes in Proficiency in a Hypodynamic Environment, *School of Aviation Medicine, USAF, Report No. 60-72*, julio 1960.
10. Hein, M.M.: Preliminary Investigation of the Problem of Maintenance of Muscle and Bone Mass and Function Under Conditions of Immobilization and Zero Gravity, *Internal Report, The Martin Company, Denver, Colorado*, abril 1960.
11. Henry, J. P., Ballinger, E. R., Maher, P. J., and Simons, D. G.: Animal Studies of the Subgravity State During Rocket Flight, *Journal Av. Medicine*, 23:421, 1952.
12. Karpovich, P. V.: *Physiology of Muscular Activity*, Cuarta Edición pp. 278-282, Philadelphia, W. B. Saunders & Company, 1953.

13. Lamb, L. E.: Influence of Aerospace Flight on the Normal Cardiovascular System -- Stresses and Effects, First International symposium on Cardiology in Aviation, pp 1-15, School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, Texas, noviembre 12-13, 1959.
14. Lansberg, M. P.: Some Consequences of Weightlessness and Artificial Weight, Presented at Symposium on Space Medicine, British Interplanetary Society, London, England, octubre 16-17, 1958.
15. Levine, S. A.: Some Harmful Effects of Recumbency in Treatment of Heart Disease, J.A.M.A. 126:80, 1944.
16. McKenzie, R. E., Hartman, B., Graveline, D.E.: An Exploratory Study of Sleep Characteristics in a Hypodynamic Environment, School of Aviation Medicine, USAF, Report No. 60-68, octubre 1960.
17. Pace, N.: Hemodynamics Evaluation at Null Gravity, Preprint No. 10, Presentado en "Lunar Flight Symposium," Am. Astronautical Society, diciembre 19, 1961, Denver, Colorado.
18. Schock, G. J. D.: A Study of Animal Reflexes During Exposure to Subgravity and Weightlessness, J. Aerospace Medicine, 32:336. 1961.
19. Stutman, L. J., and Olson, R.: Effects of Zero Gravity Upon the Cardiovascular System, U.S. Armed Forces Medical Journal 11 (10), 1162-1168, octubre 1960.
20. Symposium: Abuse of Bed Rest, J.A.M.A. 125, 1075, 1944.
21. Ward, J.E., Hawking, W. R., Stallings, H. D.: Physiologic Response to Subgravity, School of Aviation Medicine, USAF, Report No. 59-2, enero 1959.
22. Wiggers, Carl J.: Physiology in Health and Disease, Quinta Edición pp 969-973, Philadelphia, Lea & Febiger, 1949.
23. Gzenko, O. G., and Yazdovsky, V.J.: Some Results of Physiological Responses to Space Flight Conditions. Presentado en International Astronautical Federation XIIth Congress, Washington, D.C., octubre 2-7, 1961.