

Universidad Fasta

Facultad de Ciencias de la Educación - Educación a distancia

Licenciatura de Educación Física

“El ejercicio físico, una contramedida en condiciones de micro-gravedad”

Alumno: Carlos Damián Quiñenao

Director del trabajo final: Lic. Juan Armando Lofrano

Trabajo final presentado para acceder al título de Licenciado en Educación Física, se autoriza su publicación en el repositorio digital de la Universidad Fasta

Mar del plata

Mayo 2015

Dedicatoria.

A toda

mi familia, quien siempre me ha acompañado y me inculco el valor de estudiar.

Agradecimientos.

A mi gran amiga y colega, la

Licenciada Romina Casado, quien supo acompañarme en toda la carrera. A Sebastián

Musso y al Licenciado Juan Lofrano por ayudarme en la realización del trabajo final.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Problema y antecedentes	3
Objetivos.....	6
Capítulo 1. Marco teórico.....	7
Definiciones conceptuales	7
Definición de gravedad.....	7
Definición de micro-gravedad	9
Definición de ingravidez	10
Definición de caída libre.....	11
Adaptaciones fisiológicas en micro-gravedad	14
Postura corporal en micro-gravedad.....	16
Adaptaciones del musculo esquelético	23
Adaptación cardiovascular	36
<i>Cambios en la redistribución sanguínea y los fluidos</i>	40
<i>Regulación del volumen y composición del fluido corporal</i>	45
<i>Lactato sanguíneo en microgravedad</i>	54
<i>Frecuencia cardíaca en microgravedad</i>	54
Desmineralización ósea	57
Adaptaciones del aparato respiratorio	62
<i>Consumo máximo de O₂</i>	68
Termorregulación corporal en micro-gravedad.....	70
Demandas fisiológicas de las EVA	73
Peso y composición corporal.....	75
Adaptaciones en órganos internos y otros	78
Adaptaciones psicológicas, sociales y neuro-comportamentales	87
Medicina aeroespacial y fisiología gravitacional	89

Medicina aeroespacial	90
Fisiología gravitacional	93
Reseña histórica de la Fisiología gravitacional	98
<i>Programa Vostok soviética</i>	99
<i>Proyecto Mercury EE.UU</i>	100
<i>Programa Voskhod soviética</i>	101
<i>Proyecto Géminis EE.UU</i>	101
<i>Programa Soyuz soviético</i>	102
<i>Proyecto Apollo EE.UU</i>	102
<i>Programa Salyut soviético</i>	103
<i>Programa Skylab EE.UU</i>	105
<i>Programa Mir soviético</i>	106
<i>Programa Spacelab EE.UU</i>	107
<i>Estación espacial internacional</i>	110
La importancia del ejercicio en el espacio.....	110
Reseña histórica del ejercicio en el espacio.....	114
<i>Programa Géminis</i>	117
<i>Programa Apollo</i>	118
<i>Skylab</i>	119
<i>Programa transbordador</i>	127
<i>Programa Mir</i>	128
<i>Estación espacial internacional</i>	129
Medios para contrarrestar los efectos de la microgravedad	131
Trajes para mantener la condición física	132
<i>Traje braslet</i>	132
<i>Traje chibis</i>	133
<i>Traje kentvar</i>	135

<i>Traje penguin</i>	136
<i>Lower Body negative pressure</i>	136
Maquinaria para la realización del ejercicio.....	138
<i>Dispositivo interino de ejercicio de resistencia (IRED)</i>	139
<i>Dispositivo de ejercicio de resistencia de avanzada (ARED)</i>	141
<i>Cinta de correr con sistema de aislamiento de vibraciones (TVIS)</i>	147
<i>Ciclo-ergómetro con sistema de aislamiento de vibraciones (CVIS)</i>	149
<i>Sistema de ejercicio e investigación de atrofia muscular (MARES)</i>	152
<i>Dispositivo de ejercicio de volante (FWED)</i>	154
Periodización del entrenamiento	156
Protocolo de la NASA	161
Protocolo de la CSA	166
Protocolo de la FKA	168
Protocolo de la ESA	170
Protocolo de la JAXA	172
Teorías de la prescripción del ejercicio en micro-gravedad	174
Nuevas estudios y tendencias para el desarrollo del ejercicio en el espacio	178
Concepto avanzado de ejercicio	178
Nuevos programas de ejercicio.....	182
Uso de gravedad artificial.....	186
Capitulo 2. Metodología de la investigación	193
Capitulo 3. Conclusiones	195
Recomendaciones	198
Referencias	199

Resumen

La presente tesina realiza una descripción y un análisis del ejercicio físico utilizado por las distintas agencias espaciales como una contramedida ante la exposición prolongada en micro-gravedad. Se dan a conocer y se explican los motivos por los cuales es necesario desarrollar un plan de entrenamiento de fuerza y resistencia cardiovascular en el espacio exterior. En la investigación podemos diferenciar tres grandes partes. La primera en donde se caracteriza el ambiente de micro-gravedad y las adaptaciones fisiológicas que sufre el organismo en variables como el VO₂max, la termorregulación, la frecuencia cardiaca, la desmineralización ósea, atrofia muscular, etc., ante la exposición a la misma. En la segunda parte se describe todo lo referente al desarrollo y prescripción del ejercicio en el espacio como los protocolos de entrenamiento, la historia del ejercicio en el espacio, la maquinaria para el ejercicio y los fundamentos del entrenamiento en el espacio. Y en la tercera parte encontramos las nuevas tendencias del entrenamiento físico en el espacio. En este trabajo se seleccionó la bibliografía y los documentos pertinentes, se los analizo y se los comparó. De esta manera se establecieron las distintas líneas que componen este trabajo. Los distintos criterios propuestos por los investigadores se agrupan en función de los temas específicos y mediante este proceso se llegó a generalizaciones. Los textos desarrollados por los autores se basan en investigaciones de campo. Mediante la lectura del trabajo se puede establecer que el ejercicio físico es el medio más eficaz con el que cuenta el ser humano para contrarrestar los efectos de la micro-gravedad, que todavía hay lagunas del conocimiento en la prescripción del ejercicio para vuelos de largo plazo, se aconseja el aumento de la

intensidad por sobre el volumen de entrenamiento y que se estudia la combinación del ejercicio con farmacología, nutrición o centrifugas para obtener mejores resultados.

Palabras clave: micro-gravedad, fuerza, resistencia, ejercicio físico, fisiología gravitacional, contramedida, desmineralización ósea, atrofia muscular.

Justificación

El estudio del entrenamiento deportivo ha sido estudiado por numerosos autores. El mismo es aplicado y desarrollado en distintas áreas tales como la recreativa, la competitiva, para el mantenimiento de la salud, etc. Pero si observamos, podemos encontrar un apartado dentro del mismo que se refiere al entrenamiento en condiciones extremas, y trata temas como la altitud, las altas temperaturas, bajas temperaturas, ambientes hiperbáricos, ambientes hipobáricos y demás. Muchos de estos temas estudiados los encontramos en mucha de la literatura existente y los podemos aplicar en nuestras prácticas profesionales. De todos estas variantes hay una que podríamos decir que es la más extrema y presenta numerosos retos al momento de ser estudiada dada su especificidad y su poco desarrollo, la micro-gravedad (real).

Sin dudas que pensar cuál es la relación que une el espacio exterior, en donde se halla la micro-gravedad real, y la práctica regular del ejercicio físico casi no lo podríamos expresar. Sin embargo la relación entre ambos es muy estrecha.

Al investigar el tema podemos ver como los distintos especialistas como fisiólogos, biólogos, físicos, etc., desarrollan investigaciones sobre el tema pero casi no se encuentran profesionales de la actividad física que lo hagan. Entonces cabe preguntarse: ¿por qué los profesionales de la actividad física casi no saben del tema o no están en dichas investigaciones y si los profesionales que no fueron formados específicamente para la prescripción del entrenamiento? ¿Por qué no indagamos en un tema que nos es propio? Por tal motivo es necesario investigar un tema que nos concierne y con más razón porque la mayoría de los profesionales de la actividad física lo desconocen. De esta manera tal vez a futuro podamos realizar un aporte de inmensas magnitudes.

La investigación de esta temática es novedosa y al mismo tiempo relevante para el ámbito de la Educación Física, ya que demuestra el gran alcance que tiene la práctica sistemática y regular ejercicio físico y cuanto preserva nuestra salud en un ambiente tan hostil como lo es la micro-gravedad.

Esta investigación reúne todas las variables que hacen a la temática en cuestión (características de la micro-gravedad, fisiología en el espacio, periodización del entrenamiento en ingravidez, etc.), mientras que en otras investigaciones solo se tratan las variables de forma aislada y con poca profundidad en algunos casos. Generalmente estos estudios publicados están escritos en otro idioma lo cual dificulta su comprensión.

Se destaca la importancia de este trabajo, ya que puede generar nuevos espacios de conocimiento y de debate en lo que respecta al entrenamiento. Puede ayudarnos a comprender mejor la fisiología terrestre y sobre todo a revalorizar el papel de la actividad física en el quehacer diario del hombre. Como profesores de Educación Física necesitamos conocer los alcances y limitaciones de una herramienta tan utilizada en nuestras prácticas como lo es el ejercicio físico.

Introducción

La práctica del ejercicio físico es llevada a cabo en distintas condiciones medio ambientales. En la altura, sobre el nivel del mar, en profundidades, con temperaturas extremas, etc. Entre una de esas condiciones, poco explorada y muy extrema, encontramos la micro-gravedad. La misma se encuentra en el espacio exterior a unos 400 kilómetros de altitud de la superficie terrestre. Este ambiente de micro-gravedad produce una serie de adaptaciones fisiológicas, las cuales ponen en peligro la salud de los astronautas. Tales adaptaciones son la atrofia muscular, el desacondicionamiento cardiovascular acompañado de cambios en los fluidos corporales y la desmineralización ósea. Estas adaptaciones se pueden revertir mediante la práctica rigurosa del ejercicio físico.

El ejercicio físico representa la principal contramedida para mantener al mínimo el deterioro en la salud de los astronautas. De esta manera, los mismos realizan un entrenamiento sistemático y planificado el cual se basa principalmente sobre el trabajo de dos capacidades condicionales, la fuerza y la resistencia cardiovascular. Se establece así una estrecha relación entre astronautas y ejercicio físico.

Este trabajo ofrece una exhaustiva y completa revisión bibliográfica en donde se investiga el ejercicio físico en condiciones de micro-gravedad, que comprende desde los primeros intentos de entrenamiento en el espacio, hasta las más modernas concepciones de entrenamiento en micro-gravedad.

El objetivo de esta investigación es ampliar el conocimiento sobre el desarrollo del ejercicio en condiciones extremas, que en este caso es el espacio exterior.

Los recursos bibliográficos que conforman el marco teórico, provienen de las instituciones e investigadores más renombrados y actualizados en el tema.

Mediante el análisis, la selección y la comparación de los recursos bibliográficos basados en investigaciones empíricas, desde las primeras hasta las más modernas, se establecerán las conclusiones correspondientes para dar respuesta a los interrogantes planteados.

Problema y antecedentes

El ejercicio o actividad física según algunos investigadores casi nunca son llevados a cabo bajo condiciones medio-ambientales ideales. El ejercicio es llevado a cabo en ambientes extremos como las altas temperaturas y bajas temperaturas, la altitud, etc.; de los cuales tenemos algunas nociones de cómo llevarlos a cabo y como responde el cuerpo humano. Ahora bien no se sabe mucho acerca de cómo desarrollar un programa de actividad física en el espacio exterior en donde casi no hay gravedad, por qué se lo realiza y cuáles son las respuestas fisiológicas del cuerpo humano en este ambiente. Dada esta situación se plantea el siguiente interrogante.

¿Por qué los astronautas deben llevar a cabo en el espacio un estricto programa de actividad física y como se desarrolla el mismo?

Antecedentes:

Los estudios referentes a la prescripción del entrenamiento físico en micro-gravedad datan ya de varios años. Los mismos comenzaron a desarrollarse cuando la carrera espacial comenzaba. Casi la totalidad de estas investigaciones son extranjeras. El estudio del ejercicio también lleva a estudiar y comprender la fisiología del cuerpo humano en el espacio.

Los investigadores más relevantes en cuanto al ejercicio físico que han tratado el tema son:

Víctor A. Convertino, fisiólogo de los EE.UU, ha realizado y publicado varios estudios del tema de fisiología y micro-gravedad, como por ejemplo "*Exercise as a countermeasure*

for physiological adaptation to prolonged spaceflight”, o “Planning strategies for development of effective exercise and nutrition countermeasures for long-duration space flight.”

Robert Fitts, biólogo, profesor de ciencias biológicas en la Universidad de Milwaukee, estudia los efectos de la micro-gravedad sobre todo en el sistema musculoesquelético. Fitts y su equipo estudiaron los efectos de las misiones espaciales de larga duración en los músculos de los astronautas.

Marks Guilliams, colaborador en el proyecto Exercise Physiology and Countermeasures Project/SK de la NASA-Johnson Space Center. Entrenador de la fuerza y preparador físico.

Lori ploutz-Synder doctorada en Fisiología de la Universidad de Ohio en 1994. Pasó 3 años de sus estudios de doctorado en Ciencias de la Vida en el Espacio del Centro Espacial Kennedy y trabajó con Gary Dudley y Víctor Convertino. Ha publicado artículos en revistas de más de 70 estudios revisados en revistas de prestigio. Ella es directora del laboratorio de fisiología del ejercicio y contramedidas desarrollo del Centro Espacial Johnson.

Por el lado de la fisiología espacial encontramos a:

Willmore y Costill en *“Fisiología del esfuerzo y del deporte”* los cuales tratan el tema de la fisiología humana en condiciones de micro-gravedad.

Prisk G. Kim, físico y fisiólogo, uno de sus enfoques científico de su carrera de investigación ha sido la comprensión de los efectos de la gravedad en el pulmón.

Covertino, ya citado anteriormente.

Delp Michael, fisiólogo y licenciado en bioquímica, investiga los efectos de la micro-gravedad simulada sobre los mecanismos micro-vasculares de control en el cerebro, tejido esplácnico y el músculo esquelético, y cómo estas alteraciones contribuyen a la incidencia de hipotensión ortostática

Objetivos

Generales.

-Ampliar el conocimiento sobre el entrenamiento en condiciones extremas.

Específicos.

-Conocer y destacar la importancia de llevar a cabo un programa de entrenamiento de fuerza y resistencia en el espacio.

-Establecer si la periodización y prescripción del ejercicio producen la adaptación suficiente como para contrarrestar los efectos de la ingravidez.

-Conocer los cambios anatómicos y fisiológicos producidos en el cuerpo humano como producto de la permanencia en el espacio.

-Cómo se desarrolla un plan de entrenamiento en ausencia de gravedad.

-Conocer como es la periodización del entrenamiento de la fuerza y la resistencia.

-Conocer cuál es la capacidad condicional más ejercitada y porque.

Capítulo 1.

Para comprender bien el desarrollo del presente trabajo es necesario conocer el significado de conceptos centrales que van a sustentar la investigación. Los mismos son gravedad, micro-gravedad, caída libre e ingravidez. El concepto de gravedad está bien diferenciado y entendido en su concepción, pero a menudo los otros conceptos se utilizan como sinónimos de manera equivocada.

Definiciones conceptuales

Gravedad.

Eduardo García Llama (2014), Licenciado en Física aplicada, nos da una aproximación al concepto de gravedad:

Todos los cuerpos con masa crean a su alrededor un 'campo gravitatorio'¹, que es de mayor o menor intensidad dependiendo de la cantidad de la masa que lo crea. La Tierra, con sus casi 6 cuatrillones de kilos, genera un campo gravitatorio por el que otros cuerpos con masa (como nosotros) se ven atraídos hacia su centro con una cierta aceleración: la aceleración de la gravedad. Esta aceleración es la que nos confiere nuestro peso, y su valor decrece a medida que nos alejamos de la Tierra. En la superficie terrestre, la aceleración de la gravedad es de unos 9,8 metros por segundo al cuadrado y, por convenio, nos referimos a este valor como un 'g'. Así pues, 1g es la aceleración con la que nos atrae la Tierra en su superficie. A medida que nos alejamos de la superficie, la aceleración de la gravedad decrece, pero hay

¹ El campo gravitatorio es un campo de fuerzas que representa la gravedad.

que estar realmente muy lejos de la Tierra para que la gravedad sea muy pequeña y pueda considerarse inexistente a efectos prácticos. (§ 2)

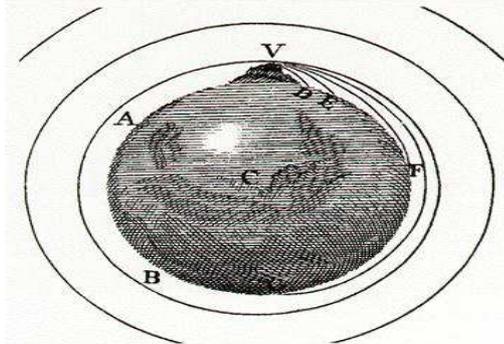


Figura 1. Ejemplo de una trayectoria de caída libre perpetua. Fuente: Principia Mathematica, VII, Libro III, p. 551 (1687).

Para la Real Academia Española la gravedad es la "Fuerza que sobre todos los cuerpos ejerce la Tierra hacia su centro. Su valor normal (g) es $9,81 \text{ m/s}^2$." o en su segunda definición se la entiende como la "Atracción universal de los cuerpos en razón de su masa."

En la publicación electrónica "*Definición de gravedad. Concepto de, Definición de conceptos y definiciones para tus trabajos*" se define a la gravedad de la siguiente manera:

La gravedad es la fuerza de atracción que ejerce la tierra y otros cuerpos celestes sobre los cuerpos y objetos que allí se posan. También es conocida como fuerza de gravedad o fuerza gravitacional. (§1)

Esta fuerza hace que todos los objetos o cuerpos sobre la tierra se mantengan unidos a ellas; por eso cuando se lanza una pelota hacia arriba esta cae de nuevo. En su caída hacia el suelo, es atraída por el centro de gravedad terrestre debido a las fuerzas de atracción recíproca que se establecen entre el cuerpo en cuestión y la tierra. (§2)

Todos los objetos que se observan en nuestro entorno tienen un punto donde parece concentrarse todo su peso, este es el centro de gravedad. (§3)

La caída de un cuerpo hacia la superficie terrestre se produce por una aceleración independiente de la masa del cuerpo que cae, el valor que suele aceptarse internacionalmente es $9,81\text{m/s}^2$ y esta es conocida como aceleración de la gravedad, durante los vuelos espaciales se conoce como micro-gravedad. (§4)

Conociendo estas definiciones de Gravedad ampliaremos los conocimientos citando otros conceptos más específicos

Micro-gravedad.

Para muchos autores el concepto de microgravedad es sinónimo de gravedad cero. Pero el verdadero significado de la palabra indica que las fuerzas gravitacionales no son absolutamente cero. Su símbolo es μg .

Para la real academia española la micro-gravedad es la “Manifestación prácticamente nula de la pesantez de los cuerpos por ausencia de la gravedad.”

La Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio ²(NASA) nos dice:

La microgravedad es la condición en la que las personas o los objetos parecen no tener peso. Los efectos de la microgravedad se pueden ver cuando los astronautas y objetos flotan en el espacio. En microgravedad, los astronautas pueden flotar en su nave espacial - o fuera, en una caminata espacial. Los objetos pesados se mueven fácilmente. Por ejemplo, los astronautas pueden mover equipos pesados cientos de

² La National Aeronautics and Space Administration, es la agencia espacial estadounidense responsable de la investigación aeronáutica y aeroespacial.

kilos con sus dedos. La microgravedad es a veces llamada "gravedad cero", pero esto es engañoso. Algunas personas piensan que no hay gravedad en el espacio. De hecho, una pequeña cantidad de gravedad se puede encontrar en todas partes en el espacio. La gravedad es lo que sostiene la luna en órbita alrededor de la Tierra. La gravedad hace que la Tierra en órbita alrededor del sol. Mantiene el sol en su lugar en la galaxia de la Vía Láctea. La gravedad, sin embargo, llega a ser más débil con la distancia. La Estación Espacial Internacional ³ orbita la Tierra a una altitud de entre 200 y 250 kilómetros. A esa altura, la gravedad de la Tierra es de aproximadamente 90 por ciento de lo que está en la superficie del planeta. En otras palabras, si una persona que pesa 100 libras en la superficie de la Tierra podría subir una escalera hasta llegar a la estación espacial, esa persona pesaría 90 libras [...]

También nos podemos encontrar con otro concepto un tanto confuso como lo es la ingravidez. ¿Qué es realmente la Ingravidez?

Definición de Ingravidez.

El sitio web astromia.com en su glosario define el concepto de ingravidez como:

[...] el estado por el que un cuerpo pesado no siente la atracción de la gravedad, sea por estar a gran distancia de cualquier astro capaz de ejercerla, o por haber sido puesto en condiciones especiales para que no la sienta.

³ La Estación Espacial Internacional (*ISS*) es un centro de investigación ubicado en la órbita terrestre. Esta conformada principalmente por las siguientes agencias espaciales: la NASA, la Agencia Espacial Federal Rusa (FKA), la Agencia Japonesa de Exploración Espacial (JAXA), la Agencia Espacial Canadiense (CSA) y la Agencia Espacial Europea (ESA). Sus dimensiones son aproximadamente 109 m de longitud y 88 m de ancho, con una masa cercana a las 420 toneladas. En funcionamiento desde 1998.

El diccionario de la real academia española define la Ingravidez como, “Cualidad de ingrávido.” y en su segunda definición al “Estado en que desaparecen los efectos de las fuerzas gravitatorias.”

Definición de Caída libre.

Investigadores como Ricardo Santiago Netto entienden la caída libre como:

Movimiento uniformemente variado, donde la aceleración es la de la gravedad y la dirección del movimiento sólo puede ser descendente. Se trata de un caso particular del movimiento de “Tiro Vertical”, donde la velocidad inicial siempre es nula.

Ahora, es necesario integrar estos conceptos para responder al siguiente interrogante:
¿Que sucede con los objetos que flotan libremente en el espacio como las naves espaciales y los astronautas en el interior de las mismas?

Eduardo García Llama (2014):

[...] la trayectoria que describe la nave (y sus tripulantes dentro) en el espacio está afectada únicamente por la presencia de la fuerza gravitatoria (no hay otras fuerzas actuando sobre la nave; una nave en órbita no precisa tener encendidos sus motores para mantenerse en órbita), por lo que una órbita no es más que una gigantesca trayectoria de vuelo o caída libre en la que, simplemente, la trayectoria es paralela a la curvatura de la Tierra, por lo que, en principio, un objeto en esta trayectoria nunca acaba de caer. Esta es la razón por la que los astronautas aparecen flotando en el

interior de la estación, porque caen continuamente junto con ella, pero no porque no haya gravedad, [...]. [...] la nave espacial [...] es lanzada por un cohete que la pone en órbita a una velocidad paralela a la superficie de la Tierra de varios kilómetros por segundo. Es precisamente la fuerza de la gravedad la que hace que la trayectoria de la nave espacial se vaya curvando; sin la fuerza de gravedad actuando sobre la nave, ésta simplemente se alejaría de la Tierra [...] (§ 5)

Lawzenski (2012) plantea la siguiente aclaración de manera genérica de lo que sucede con los objetos que flotan en el espacio exterior y lo que es la caída libre. Afirma lo siguiente:

A la altura de 390 kilómetros sobre el nivel del suelo, donde se encuentran orbitando la Estación Espacial Internacional (EEI), la gravedad terrestre existe y es apenas un 12,5 por ciento menor que en la superficie de la Tierra (9,86 contra 8,58 metros por segundo²). (§4)

Si allí no hubiese gravedad, la Estación, que vuela a más de 26 mil kilómetros por hora y da una vuelta alrededor del mundo cada 92 minutos, saldría disparada hacia el espacio para no regresar. (§5)

Lo que en realidad ocurre es que los objetos que están en órbita están en una situación de caída libre, que se asemeja a la de un ascensor cayendo desde un piso muy alto y donde los que van dentro no pueden medir su masa con una balanza, ya que no hay un suelo firme donde apoyarla. Es decir no hay nada que se oponga a la Fuerza de Gravedad, como ocurre con el suelo de la Tierra para los que estamos parados en ella. Esto es consecuencia que la EEI y todos sus componentes han sido

elevados a esa altura, para luego ser lanzados en una trayectoria paralela a la superficie de la Tierra con una velocidad que les permita caer alrededor de la Tierra, por diferentes cohetes rusos o el trasbordador Atlantis. Es decir, la EEI va cayendo a medida que la superficie de la Tierra se va curvando bajo ella. (§6)

La traducción correcta de "weightless" y "weightlessness" al español (castellano) es "falta de peso" y "estado de falta de peso". Conceptos también confusos y equívocos, ya que el peso, que se define como una fuerza que resulta del producto de la masa por la aceleración de gravedad, de acuerdo a la Segunda Ley de Newton, no puede desaparecer mientras exista gravedad. (§7)

Para Catalayud Jaime Miquel (2004)

Los factores físicos que intervienen en la producción de micro-gravedad han sido objeto del siguiente comentario: "Desde un punto de vista físico, un cuerpo sólo podría ser ingrávigo en ausencia de las fuerzas de aceleración, lo que, según la Ley de Gravitación Universal⁴, es teóricamente imposible. Sin embargo, la ingravidez puede ser simulada por la "caída libre" en aviones que descienden en picada y en satélites en órbita en los que la fuerza centrífuga contrarresta la atracción de la Tierra. Por ello la NASA recomendó la utilización del término ingravidez para designar esta variedad de situaciones "sin peso demostrable ni sus efectos". Y aunque ningún procedimiento consigue la total eliminación de la fuerza gravitacional y de aceleración, por lo cual los términos hipogravedad o micro-gravedad son más correctos, a menudo se les substituye por ingravidez. (§5)

⁴ La ley de gravitación universal es una ley física que describe la interacción gravitatoria entre distintos cuerpos con masa.

Establecidos los conceptos de gravedad, micro-gravedad, ingravidez y caída libre y las diferencias entre los mismos vamos a ver cuáles son las adaptaciones fisiológicas que produce la exposición prolongada a la micro-gravedad.

Adaptaciones fisiológicas en micro-gravedad

Cuando los astronautas experimentan condiciones de micro-gravedad como en los vuelos espaciales sufren adaptaciones anatómicas y fisiológicas en su cuerpo. Tales adaptaciones son reversibles con el tiempo una vez concluido el vuelo espacial. Entre las más importantes se destacan la atrofia muscular, la redistribución de fluidos, y la desmineralización ósea. A continuación se describen en una primera aproximación estos cambios para luego detallar de manera específica que es lo que dicen los distintos investigadores acerca de estas adaptaciones.

Susana Chavarría Gonzales (2006) señala en su trabajo de fisiología del ejercicio en el espacio las adaptaciones que ocurren a nivel general en todo el cuerpo humano.

Los cambios fisiológicos que ocurren en un organismo cuando se encuentra en un ambiente de micro-gravedad son similares a los que ocurren por envejecimiento, hipokinesia, hipodinamia, inmovilización (bed rest)⁵, inmersión en agua, “caída libre” en aviones que descienden en picada o por abandono de un entrenamiento físico. (¶4)

Los cambios fisiológicos que ocurren a causa de la falta de gravedad se presentan principalmente en los huesos, los músculos, los riñones y el sistema

⁵ Bed-rest es la traducción de reposo en cama o inmovilización. Es una técnica utilizada para simular los efectos de la microgravedad, y consiste en este caso particular en que la persona se mantenga en cama durante un periodo de tiempo, con una inclinación de 6° de la cabeza hacia los pies.

cardiovascular. Se dice que cuando se está a 337,890 Km. de distancia de la Tierra, la fuerza de gravedad es de cero, por lo que el cuerpo no pesa lo que provoca un deterioro rápido de los huesos, músculos y tendones que no se utilizan desencadenando finalmente una reducción de la capacidad funcional general del cuerpo. (¶5)

Wolfe & Rummel (1992) nos explican que:

[...] la exposición a largo plazo a la micro-gravedad provoca una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos en los seres humanos; entre los más significativos son: 1) el equilibrio negativo de calcio que resulta en la pérdida de hueso; 2) atrofia de los músculos antigraedad; 3) redistribución de fluido y disminución del volumen plasmático, y 4) la pérdida de acondicionamiento cardiovascular que conduce a la intolerancia ortostática.

Ya durante la estadía en el vuelo espacial el cuerpo sufre tales adaptaciones en distintas etapas. Así lo describe Plush Linda, Vicepresidente de Space Medicine Associates.

1ERA. Fase: representa ajustes en todos los sistemas del cuerpo, esto ocurre en las primeras 3-6 semanas del vuelo espacial.

2DA. Fase: comienza después de varios meses en el espacio y es caracterizada por pérdidas regionales de masa muscular y masa ósea, cambios o alteraciones de neurotransmisores y receptores en sus funciones, disminuye las respuestas inmunes y cambios en el sistema nervioso central.

En el siguiente grafico se muestran las adaptaciones fisiológicas en los distintos aparatos y sistemas del cuerpo.

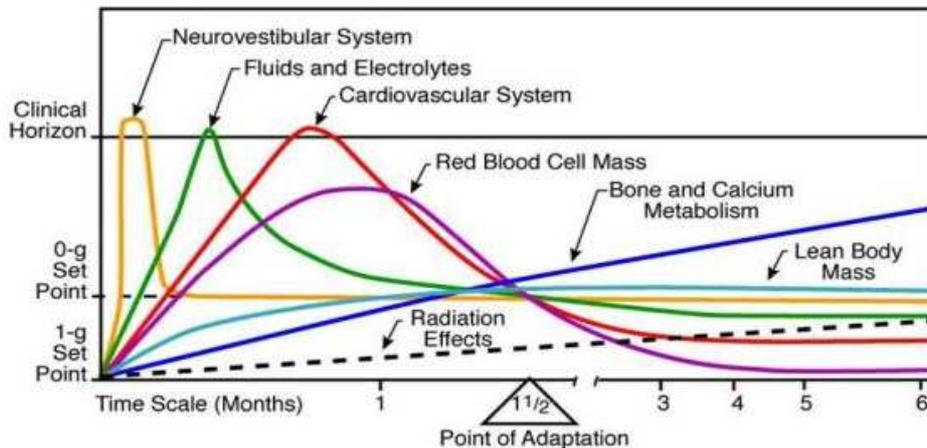


Figura 2. Cambios fisiológicos asociados a la exposición de micro-gravedad

Fuente: Effects of Microgravity “Space” Environment on Physiologic Homeostasis (American Society of Gravitational and Space Biology)

De esta manera conociendo las adaptaciones que experimenta el cuerpo humano durante su estancia en micro-gravedad veremos a continuación cuáles son los cambios fisiológicos específicos que experimentan los astronautas.

Postura corporal en micro-gravedad.

Uno de los primeros cambios que se observa es en la postura corporal. Dado que el cuerpo humano no se encuentra sujeto a la fuerza de gravedad terrestre y flota libremente se dan cambios en la estructura de la postura básica (bípeda), en la tonicidad muscular, en la biomecánica y en la coordinación motora.

Para hacer una aproximación al tema es necesario citar a los investigadores Viel, Vaugoyeau & Assaiante (2010) que dan una introducción de lo esencial que es la postura para el ser humano y su adaptación en micro-gravedad:

El control de la postura es esencial para la ejecución de la acción dirigida a metas y subyace la capacidad de controlar el movimiento bajo diversos contextos y entornos. Una función importante de la postura es para asegurar el mantenimiento del equilibrio durante la iniciación, la continuidad y la finalización de la acción. Además, la postura sirve como un marco de referencia para la producción de movimientos precisos. En efecto, la acción eficaz del cuerpo en el espacio y su representación es necesario que el sistema nervioso central (SNC) utiliza un marco de referencia en torno al cual las "posiciones y desplazamientos de objetos externos podrían ser estimados y los movimientos se pueden construir. En la Tierra, existen dos principales marcos de referencia postural: primero, el marco de referencia exocéntrica, que se basa principalmente en el vector de gravedad y en las señales visuales y segundo, el marco de referencia egocéntricos, que se basa en su conjunto o bien el cuerpo del sujeto o en los segmentos que participan en una acción en curso. En contraste, bajo condiciones de micro-gravedad, el marco de referencia exocéntrica se percibe sólo sobre la base de las señales visuales disponibles en el entorno inmediato del sujeto, es decir, los proporcionados por la nave espacial o cabina de la aeronave, mientras que los mensajes sensoriales que median las acciones en curso en el marco egocéntricos son afectado en gran medida en estas condiciones porque están asociados con una disminución en las entradas propioceptivas. (¶1)

[...]El esquema corporal involucra una representación general, incluyendo partes de ambos los marcos de referencia exocéntrica y egocéntrica. En efecto, la esquema postural del cuerpo se usa normalmente para controlar la postura [...],

sobre la base de representaciones internas tales como la geometría cuerpo, las fuerzas ejercidas en el suelo y la orientación del cuerpo del sujeto en relación con el tirón vertical de la gravedad(¶ 2)

Si son abolidas los señales visuales, la información sólo sensorial la que se puede utilizar por los sujetos para orientar a sus cuerpos en relación con los resultados nave espacial a partir de la integración de la información [...]. Esta información participa a la re-calibración del esquema corporal. [...] los sujetos pueden utilizar la información plantar del acerca de la orientación del piso para ajustar las posiciones angulares de toda la cadena de las articulaciones axiales de manera adecuada en fin de adoptar un postura de pie o para ajustar la orientación de cualquiera de los segmentos del cuerpo. (¶ 3)

En efecto, la micro-gravedad abole selectivamente la información graviceptiva somastecica⁶ y la información otolítica estática. [...] la visión juega un papel particularmente importante en virtud de la ingravidez, ya que contribuye, en particular, a volver a calibrar otros componentes sensoriales, tales como los que mediada por el sistema de propioceptivo, que se ve afectado en virtud condiciones de ingravidez. El recurso de los sujetos en el bastidor de referencia visual aumenta inmediatamente en el espacio, mientras que ha encontrado su dependencia en las señales graviceptiva y propioceptivas a disminuir durante el vuelo parabólico como así durante los vuelos espaciales. Este aumento de la dependencia en las señales

⁶ Es la información que proviene de los sistemas graviceptivos del cuerpo. El primer sistema graviceptivo se compone de vista, sistema vestibular y receptores musculares del cuello (VSV) y el segundo sistema se compone de graviceptores y receptores musculares del tronco (VSP). Estos sistemas integran y proporcionan la información propioceptiva de los músculos del tronco y graviceptores acerca de la orientación vertical del cuerpo.

visuales puede estar acompañado en virtud de las condiciones de ingravidez por un cambio en la orientación postural y las estrategias de estabilización adoptadas. La gran dependencia de los señales visuales observados en sujetos expuestos a condición experimental micro-gravedad podría ser debido directamente a la falta, o menoscabo, de los otras fuentes de información es decir, otolítica y la gravicepción somastecica. (¶4)

Andrea Berman (s.f) nos aporta un concepto específico en cuanto a la postura en condiciones de micro-gravedad.

[...] postura neutral del cuerpo, que se define como la postura que el cuerpo humano asume naturalmente en condiciones de micro-gravedad y es similar a la posición fetal. Es importante tener en cuenta que en esta posición, cada articulación es en o cerca del punto medio de su rango de movimiento - el punto en el que cada conjunto de músculos es capaz de ejercer la mayoría de la fuerza.

Por otra parte Kingma , Toussaint , Commissaris & Savelsbergh (1999) del instituto de Ciencias del Movimiento Humano Fundamental y Clínica de la Facultad de Ciencias del Movimiento Humano, en la universidad de Vrije, Amsterdam, describen en su trabajo publicado por la National Center for Biotechnology Information (NCBI) las modificaciones en algunas de las articulaciones del cuerpo “[...]Bajo condiciones de micro-gravedad, ángulos del tobillo, la rodilla, la cadera y las articulaciones lumbares diferían significativamente de los ángulos se encuentran bajo la gravedad normal[...]

Lackner & DiZio (1993) señalan una estrecha relación entre la postura y la percepción del entorno. Así las adaptaciones que sufre la postura corporal de los seres humanos en micro-gravedad traerá aparejado cambios en la percepción, tanto propia como del entorno:

La exposición a la ingravidez afecta el control y la apreciación de la posición y la orientación del cuerpo. En caída libre de la percepción de la propia orientación y la de los alrededores es dependiente de la presencia o ausencia de señales de contacto, si parte del cuerpo es visible en relación con las verticales arquitectónicamente definidas de la nave espacial, factores cognitivos, e historial de exposición. Las sensaciones de la caída no se suscitaron en caída libre cuando los ojos estaban cerrados o cuando el campo visual se estabilizaba. Esto indica que los factores visuales y cognitivos, así como los vestibulares deben estar implicados en la génesis de estas sensaciones en circunstancias normales. La posición de sentido de las extremidades también se degrada en caída libre. Esto puede ser debido a alteraciones en el husillo del músculo esquelético ganancia debida a la activación disminuida espinal y de los otolitos. Proporcionamos evidencia de que durante la exposición inicial a la ingravidez hay una disminución en la rigidez muscular que afecta a la precisión del movimiento. La carga alterada de los músculos esqueléticos de la cabeza y el cuerpo debido a la ingravidez se muestran como factores etiológicos importantes en el mareo espacial de movimiento.

Baroni , Ferrigno, Rabuffetti , Pedotti & Massion ⁷ (1999) describen las adaptaciones del control postural en condiciones de micro-gravedad prolongada.

⁷ Autores del artículo “Long-term adaptation of postural control in microgravity”. *Experimental Brain Research*. 1999 Oct.; 128(3):410-6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10501814>

Micro-gravedad orbital representa un entorno único, que permite el aislamiento de variables asumidas estar involucrado en el mecanismo de posicionamiento del cuerpo en el espacio. [...] la orientación del eje del tronco se conserva y se utiliza como un marco de referencia estable postural, el posicionamiento del centro de cuerpo de masa parece estar significativamente sesgada hacia atrás y resulta estar involucrado en un proceso a largo plazo de la adaptación en todo el vuelo hacia la re-emergencia de un reglamento postural típicamente terrestre compatible con el equilibrio.

Reschke , Bloomberg , Harm , Paloski , Layne & McDonald (1998) hablan de la postura, la locomoción, la orientación espacial y la enfermedad de movimiento en los vuelos espaciales.

[...] se ha considerado que la transducción correcta y la integración de las señales de todos los sistemas sensoriales son esenciales para el mantenimiento de una visión estable, control postural y del aparato locomotor, y la coordinación ojo-mano, como componentes de la orientación espacial. La plasticidad del sistema nervioso central humano permite a los individuos para adaptarse a las condiciones de estímulo alterados se encuentran en un ambiente de micro-gravedad. Sin embargo, hasta que se alcance un cierto nivel de adaptación, los astronautas y cosmonautas a menudo experimentan mareo espacial de movimiento, alteraciones en el control de movimiento y la coordinación ojo-mano, la visión inestable y el movimiento ilusorio del yo, la escena visual, o ambas cosas. Muchos de los mismos tipos de alteraciones encontradas en el espacio reaparecen inmediatamente después de que los miembros de la tripulación vuelven a la tierra. La magnitud de estos trastornos

neurosensoriales, sensorio-motoras y de percepción, y el tiempo necesario para recuperarse de ellos, tienden a variar en función de la duración de la misión y los viajeros del espacio, la experiencia previa con el estímulo de reordenamiento de los vuelos espaciales. [...]

Mediante estas citas podemos observar que no solo la postura se ve sometida a cambios sino que esto lleva a una reorganización en la coordinación, en el movimiento y en la percepción tanto propia como del espacio que rodea a los astronautas.

Integrando los aportes de los distintos investigadores podemos decir que un entorno de micro-gravedad obliga al cuerpo humano a adaptar y/o modificar su postura corporal en función a las demandas impuestas por este nuevo ambiente, lo cual provoca además de los cambios visibles (postura neutral), cambios en la percepción interna y externa que hacen a una propia reorganización del esquema corporal.

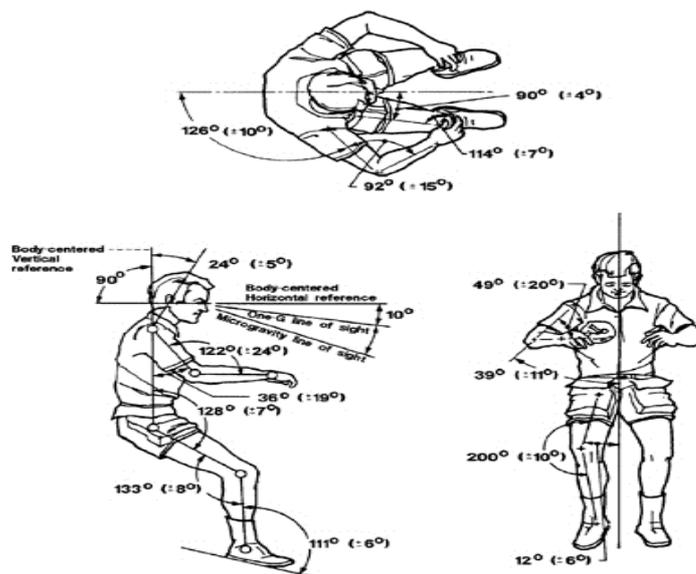


Figura 3. Postura neutral en micro-gravedad.

Fuente: NASA Standards Inform Comfortable Car Seats

Adaptaciones del músculo esquelético en el espacio.

La atrofia muscular que sufren los astronautas en vuelo genera grandes preocupaciones en las distintas agencias espaciales. No solo se ve reducida la masa muscular si no que esto genera cambios en el fenotipo de las fibras musculares, proteínas contráctiles y sustratos metabólicos.

Veamos cuales son los mecanismos que producen las transformaciones del musculo esquelético y cuál es la visión de los distintos investigadores acerca de este fenómeno.

En un informe publicado por el *Journal of Applied Physiology* Adams , Caiozzo & Baldwin(2003) investigadores del Departamento de fisiología y biofísica y Ortopedia del Colegio de Medicina de la Universidad de California, describen las siguientes adaptaciones del musculo esquelético a la micro-gravedad:

Durante los vuelos espaciales, la exposición a un ambiente de micro-gravedad induce a una serie de adaptaciones fisiológicas en el cuerpo humano. De particular interés, la descarga relativa de peso experimentada por varios músculos esqueléticos en el espacio resulta en adaptaciones estructurales y funcionales adecuadas a la carga reducida impuesta en este nuevo entorno. Las adaptaciones del musculo esquelético incluyen cambios en la expresión de proteínas metabólicas, estructurales, y contráctil. [...] (¶5)

Los riesgos para el músculo esquelético que fueron identificados fueron atrofia muscular, alteración del rendimiento motor, disminución de la fuerza muscular y de la resistencia, fenotipo muscular alterado, deficiencias nutricionales, y desequilibrios hormonales. (¶7)

¿Por qué la atrofia muscular representa un gran riesgo para los astronautas?

Los impactos esperados de estos riesgos son los siguientes: A) Incapacidad para realizar salidas de emergencia durante el aterrizaje y en la gravedad parcial debido a pérdidas significativas en la masa muscular, la fuerza y/o la resistencia. B) Incapacidad para realizar tareas relacionadas con la actividad extra-vehicular (EVA)⁸ en micro-gravedad y las actividades diarias debido al rendimiento motor reducido, reducción de la resistencia muscular y alteraciones en las propiedades estructurales y funcionales (incluyendo fenotipo) de los tejidos conectivos y blandos del esqueleto axial (por ejemplo el disco intervertebral) C) Incapacidad para mantener los niveles musculares de rendimiento para satisfacer las demandas específicas de la misión de llevar a cabo la intensidad variable, incluyendo déficits que se puedan producir en la marcha y la postura que se requieren para realizar estas actividades, y una preocupación adicional es que suficientes disposiciones nutricionales no pueden estar disponibles para proporcionar la energía o sustrato necesario para completar estas tareas. D) Déficit en la estructura y función del músculo esquelético puede afectar la homeostasis de otros sistemas incluyendo el rendimiento neuro-vestibular y motor, distensibilidad vascular, y la función circulatoria impactando en la regulación de la presión arterial (por ejemplo la bomba músculo esquelético), la integridad del tejido conectivo blando y duro (por ejemplo tendón, hueso, cartílago), y local versus general (por ejemplo la interacción tendón-hueso). (¶8)

⁸ Las EVA (Extra Vehicular Activity) o actividades extra vehiculares son las actividades que desarrollan los astronautas fuera de la nave espacial una vez traspasada la atmósfera terrestre tales como reparación de la nave, exploración, caminatas, entre otras.

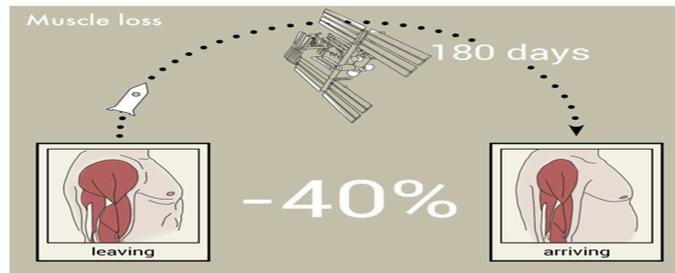


Figura 4. Representación de la atrofia muscular luego de 180 días de vuelo espacial.

Fuente: Space, the Final Exercise. Muscle loss.

Conociendo las adaptaciones del músculo esquelético a la micro-gravedad y los riesgos que implica la atrofia es importante saber ¿cuáles son los cambios en el fenotipo de las fibras musculares y en la potencia muscular?

Desplanches (1997) nos proporciona información de datos obtenidos de vuelos espaciales y modelos bed-rest:

[...] una rápida atrofia (5-8 días) se produce en los músculos de los miembros inferiores asociadas a alteraciones en la fuerza muscular, la capacidad de trabajo físico y la coordinación motriz. La reducción en el músculo área de sección transversal no puede explicar por completo la pérdida de fuerza en los músculos posturales que sugieren una unidad neuronal reducida. La atrofia muscular se acompaña de un cambio general en los perfiles contráctiles y enzimáticos de un músculo de contracción lenta oxidativa hacia la de un músculo de contracción rápida glucolíticas. En los seres humanos, los datos estructurales y funcionales limitados recogidos en los astronautas después de cortos periodos de micro-gravedad son cualitativamente similares a los observados en ratas después de micro-gravedad real o simulada lo que sugiere que los modelos animales son relevantes para la investigación del músculo en el espacio.[...]

Fitts , Riley , & Widrick (2000) profundizan más la problemática y la describen así en su publicación en el Journal of Applied Physiology y señalan que:

Tras la investigación de los vuelos tripulados se ha demostrado que los mismos causan atrofia del músculo esquelético, una pérdida de fuerza y el poder, y, en las primeras semanas una atrofia preferencial de los extensores más que de los flexores. La atrofia principalmente es el resultado de una síntesis proteica reducida que es probablemente provocada por la retirada de la carga gravitacional. Las proteínas contráctiles se pierden fuera de proporción con otras proteínas celulares, y el delgado filamento de actina se pierde en forma desproporcionada a los filamentos gruesos de miosina. La disminución de la proteína contráctil explica la disminución de la fuerza por área de sección transversal, mientras que la pérdida del filamento delgado puede explicar el aumento observado después del vuelo en la máxima velocidad de acortamiento en el tipo de fibras 1 y 2^a. Es importante destacar que la disminución inducida por la micro-gravedad en la potencia pico es parcialmente compensada por el aumento de la velocidad de la fibra. La velocidad muscular se incrementa más por el aumento en la expresión de fibras tipo 2. El vuelo espacial aumenta la susceptibilidad del musculo esquelético a los daños durante la recarga gravitacional en el regreso a la tierra. [...]. (¶ 1)

Los mismos autores Fitts, Riley, Widrick ya en el 2001 obtuvieron datos del músculo esquelético en micro-gravedad. La investigación se basó sobre seres humanos y ratas especialmente en fibras musculares, pico de fuerza de grupos musculares específicos, proteínas contráctiles y los sustratos metabólicos que a su vez estos componentes se muestran estrechamente relacionados.

[...] Los cambios perjudiciales primarios son la atrofia muscular y la disminución asociada en el pico de fuerza y poder. Estudios en ratas y en seres humanos demuestran una rápida pérdida de masa celular en micro-gravedad. En ratas, se observó una reducción de la masa muscular de hasta 37% dentro de 1 semana. Para ambas especies, el músculo sóleo antigravedad mostró mayor atrofia de los gemelos de contracción rápida. Sin embargo, en la rata, las fibras tipo I de contracción lenta se han atrofiado más que las fibras rápidas de tipo II, mientras que en los seres humanos, las fibras rápidas de tipo II eran al menos tan susceptibles a la atrofia inducida por el espacio como el tipo de fibra 1 de contracción lenta. El vuelo espacial también dio lugar a una disminución significativa en el pico de fuerza. Por ejemplo, la máxima contracción voluntaria de los músculos flexores plantares humanos se redujo en 20-48% después de 6 meses en el espacio, mientras que se observó una disminución del 21% en la fuerza máxima de las fibras tipo I sóleo después de un vuelo de un transbordador de 17 días. La fuerza reducida puede atribuirse tanto a la atrofia muscular y a una pérdida selectiva de la proteína contráctil. El primero era la causa principal porque, cuando se expresó la fuerza por área de sección transversal (kNm^{-2}), el tipo rápido humana II y de tipo lento que las fibras del sóleo no mostró ningún cambio y una disminución del 4% en la fuerza, respectivamente. La micro-gravedad se ha demostrado que aumenta la velocidad de acortamiento de los músculos flexores plantares. Este aumento se puede atribuir tanto a una elevada velocidad de acortamiento máximo ($V(0)$) de las fibras lentas y rápidas individuales y a un aumento de la expresión de fibras que contienen miosina rápida. Aunque la causa de la primera es desconocida, podría resultar en la pérdida selectiva de la actina del filamento fino y una disminución asociada en la resistencia

interna durante ciclos de puentes cruzados. A pesar del aumento de la fibra V (0), la potencia pico del tipo lento que la fibra disminuyó tras los vuelos espaciales. La disminución de la potencia fue un resultado directo de la fuerza reducida causada por la atrofia de las fibras. Además de la atrofia de las fibras y la pérdida de la fuerza y el poder, ingravidez reduce la capacidad del sóleo lento para oxidar las grasas y aumenta la utilización de glucógeno muscular, al menos en ratas. Este cambio de sustrato conduce a un aumento de la frecuencia de la fatiga. Por último, con el regreso al medio ambiente 1 g de tierra, estudios en ratas han demostrado una mayor incidencia de daño de las fibras inducida por contracción excéntrica. El daño se produce con volver a la carga y no en vuelo, pero la etiología no ha sido establecida.

En tanto Tischler & Slentz (1995) del departamento de bioquímica de la Universidad de Arizona en su artículo publicado por la National Center for Biotechnology Information (NCBI) señalan el por qué un entorno en donde la fuerza de gravedad es menor que en la tierra la atrofia muscular se da con más intensidad sobre ciertos grupos musculares:

Los músculos esqueléticos más estudiados que dependen de la gravedad, los músculos "antigravedad", se encuentran en la parte posterior de las piernas. Músculos antigravedad se caracterizan en general por una composición del tipo de fibra diferente de los que se consideran no postural. La función dependiente de la gravedad de los músculos antigravedad los hace particularmente sensibles a la ingravidez (descarga de peso), resultando en una pérdida sustancial de la proteína muscular, con una relativamente mayor pérdida de miofibrillas (estructural) proteínas. [...]. En las piernas, el sóleo parece ser particularmente sensible a la falta

de soporte de peso asociado con el vuelo espacial. La pérdida de proteína muscular conduce a un área de sección transversal reducida de las fibras musculares, en particular de la contracción lenta, los oxidantes (SO) en comparación con las fibras de contracción rápida oxidativa-glucolíticas (FOG) glucolíticas (FG). En algunos músculos, se ha informado de un cambio en la composición de la fibra del SO a FOG en la adaptación al vuelo espacial. Los cambios en la composición del músculo con los vuelos espaciales se han asociado con una disminución de la tensión isométrica máxima (P_o) y el aumento de velocidad de acortamiento máximo. En términos de metabolismo de los combustibles, los resultados variaron dependiendo de la vía considerado. La captación de glucosa, en presencia de insulina, y las actividades de las enzimas glucolíticas se incrementan por los vuelos espaciales. En contraste, la oxidación de los ácidos grasos puede ser disminuida. La oxidación de piruvato, la actividad del ciclo del ácido cítrico, y el metabolismo de cetona en el músculo parece no estar afectada por la micro-gravedad.

Para dar una precisión más exacta de la atrofia sufrida por los grupos musculares citamos a los siguientes autores en donde los mismos exponen porcentajes de cambio en las fibras musculares.

Williams, Kuipers, Mukai, & Thirsk⁹ (2009) exponen en su informe publicado por la NCBI que la atrofia muscular experimenta distinto porcentajes en función al tiempo de exposición en micro-gravedad:

⁹ Autores del artículo de investigación “Acclimation during space flight: effects on human physiology” *Canadian Medical Association Journal (CMAJ)*, 2009 June 23; 180(13): 1317–1323.
doi: 10.1503/cmaj.090628 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2696527/>

[...] Después de la segunda semana de vuelo espacial la masa muscular se reduce hasta en un 20% y en misiones más largas (3 a 6 meses) se observó una pérdida del 30%. (¶ 17)

[...] En el nuevo estado de equilibrio durante el vuelo, la síntesis de proteínas se redujo en un 15% en comparación con el pre-vuelo, y el área de las fibras transversales se redujo en un 20% -50%. Tipo 2 fibras de los músculos posturales parecen experimentar una mayor pérdida que las fibras de tipo 1. Las biopsias musculares después del aterrizaje también indican un cambio fenotípico de tipo 1 a tipo 2, permitiendo que los músculos se contraigan más rápido, pero que da por resultado más fatiga y reduce la capacidad de oxidación de la grasa en los músculos esqueléticos. (¶ 19)

[...] A raíz de vuelos cortos, una pérdida del 12% del par máximo se midió la extensión de rodilla, y una pérdida del 31% se observó después de un largo vuelo. La pérdida de volumen y la pérdida de fuerza no siempre se correlacionan. Después de una misión de 6 meses, un astronauta perdió el 20% del volumen del músculo de la pantorrilla, mientras que la fuerza explosiva de estos músculos se redujo en un 50%. La discrepancia entre la masa muscular perdida y la disminución de la fuerza puede ser debido a alteraciones en el reclutamiento motor de unidades, el aparato contráctil, la eficiencia electromecánica o el daño muscular. Después de cuatro meses en el espacio, la masa muscular y la fuerza parecen alcanzar un nuevo estado de equilibrio. (¶ 20)

Willmore y Costill describen los cambios inducidos en micro-gravedad en los distintos grupos musculares y establecen las diferencias entre los estudios de bed-rest y los de micro-gravedad real:

[...]La atrofia muscular es la consecuencia principalmente de una menor síntesis de proteínas. [...]Con el tiempo la atrofia muscular resultante puede llegar a ser importante. [...]

Asimismo, existe una importante diferencia entre la inmovilización y micro-gravedad. Con la inmovilización, los músculos experimentan poca o ninguna activación. Pero en micro-gravedad los músculos son activados, pero se cargan con una intensidad menor debido a la pérdida de los efectos de la gravedad.

Estudios llevados a cabo sobre sujetos que guardan reposo en cama, simulando micro-gravedad, han hallado reducciones importantes tanto de la fuerza como de la sección transversal, de las fibras musculares ST y FT, con la tendencia por parte de las fibras FT a ser las más afectadas [...].

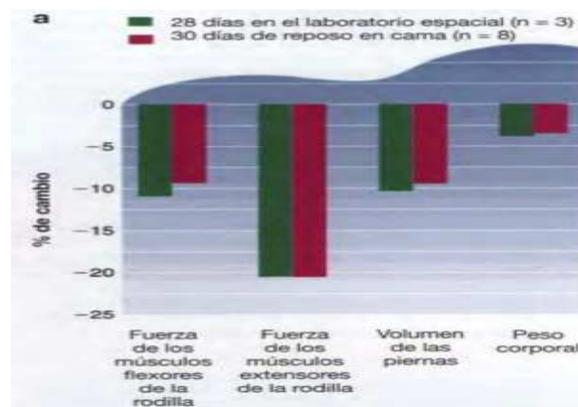


Figura 5. Fuerza y volumen de piernas y cambios en el peso corporal con 30 días de reposo en cama y un vuelo espacial de 80 días.

Fuente: Fisiología del esfuerzo y del deporte. Willmore y Costill



Figura 6. Cambios en el área transversal de las fibras musculares tras 30 días de reposo en cama. (fig. B).

Fuente: Fisiología del esfuerzo y del deporte. Willmore y Costill

Para concluir, los mismos autores establecen lo siguiente:

Por lo tanto, debemos reconocer el potencial de atrofia muscular y de pérdida de fuerza cuando nos exponemos a micro-gravedad. Pero los resultados de las misiones de Skylab¹⁰ indican que un programa bien diseñado de ejercicios puede atenuar mucho la pérdida de tamaño y función muscular.

Considerando otros autores se establecen los siguientes porcentajes de cambio:

Los datos de estudios de vuelos espaciales indican una severa pérdida de masa muscular / volumen y la fuerza, a pesar del uso de las contramedidas de ejercicio, incluso durante las misiones de corta duración. Después de una misión de transbordador espacial de 8 días, Le Blanc *et al.*, observó pérdidas significativas en la masa muscular en el sóleo-gemelo (-6%), los isquiotibiales (-8%), cuádriceps (-6%), los músculos intrínsecos de la espalda (10%), y los músculos de la pantorrilla anterior (-4%). Del mismo modo, Akima y sus colegas observaron pérdidas en los

¹⁰ Primera estación espacial de Estados Unidos. Estuvo en órbita desde 1973 a 1979.

cuádriceps (-6 a -15%), los isquiotibiales (-6 a -14%), y los flexores plantares del tobillo (-9 a -16%) en los tres miembros de la tripulación en misiones de 9-16 días. Biopsia del m. vasto lateral después de una 11 - vuelo día demostrado que cantidades de atrofia muscular 16-36% eran evidentes en el nivel de la miofibras. A pesar de la participación de los miembros de la tripulación en un ejercicio más regular como programa de contramedida, las pérdidas en el volumen muscular son más grandes después de un vuelo espacial de larga duración. Después de las misiones, de 16 a 28 semanas, cuádriceps (-12%), los isquiotibiales (-16%), espalda intrínseca (-20%), m. gastrocnemio (-24%), m. volumen del músculo sóleo (-20%), y la pierna anterior inferior (-16%) se redujeron. Le Blanc y sus colegas han sugerido que después de cuatro meses de exposición en microgravedad, la masa muscular alcanza un nuevo estado de equilibrio, o línea de base. (¶51)

Carpenter *et al.* (2010) cita a otros autores los cuales describen muy bien en cifras porcentuales los cambios inducidos en los distintos grupos musculares:

Al igual que los huesos, los músculos también pueden adaptarse a diferentes niveles de actividad física. Actividad muscular reducida durante las misiones espaciales conduce a la atrofia muscular, pérdida de fuerza y potencia muscular, y la fisiología muscular alterada, especialmente en las extremidades inferiores (Fitts et al. 2001). En un estudio reciente, los miembros de la tripulación sufrieron una pérdida de 13% en el volumen muscular de la pantorrilla (2,2% de pérdida por mes en promedio) y una disminución del 32% en la potencia muscular máxima (5,3% de pérdida al mes de media) después de 6 meses a bordo de la ISS a pesar el uso de un programa de ejercicios que incorpora carrera en cinta, bicicleta de ejercicio, y el

ejercicio de resistencia (Trappe *et al.* 2009). Un segundo estudio reciente de los miembros de tripulación de la ISS demostró pérdidas en volumen muscular de 10% a 16% en la pantorrilla y 4% a 7% en el muslo después de las misiones de 6 meses (Gopalakrishnan *et al.* 2010). La fuerza muscular se perdió en la rodilla (disminución de 10% a 24%) y el tobillo (disminución de 4% a 22%).

Gopalakrishnan *et al.*, no observó un cambio significativo en el volumen muscular en la parte superior del brazo, pero la fuerza en el codo disminuyó en un 8% a 17%.

(¶6)

En función a los sustratos metabólicos utilizados por parte del musculo esquelético en micro-gravedad se observan algunas particularidades.

Robert Fitts *et al.* (2000) encontraron alteraciones en la utilización de los sustratos metabólicos por parte de la fibra muscular:

Los estudios realizados en ratas y reposo en cama en los seres humanos han demostrado que el aumento de glucógeno muscular en el Soleo, y los vuelos Cosmos y Spacelab ¹¹ han documentado que el glucógeno del músculo esquelético de rata aumentó con el vuelo espacial. No se conocen los informes publicados sobre los efectos de la micro-gravedad sobre el glucógeno muscular humano. Se ha publicado recientemente un artículo en el que compararon el gasto energético durante un vuelo espacial de 17-días y 17 días de reposo en cama. El balance de energía se mantuvo sin cambios con reposo en cama, mientras que los cuatro

¹¹ *Cosmos* fue un programa de satélites artificiales soviéticos, cumplieron varias misiones de carácter científico, experimental, militar y de observación. El primer satélite del programa Cosmos se lanzó en 1962 y el último, en 1975. Spacelab fue un laboratorio de microgravedad transportado por el transbordador espacial. Su construcción fue iniciada en 1974 y en 1998 fue desarmado.

astronautas tenían un balance negativo de energía promedio de 1.355 kcal / día. Se estudiaron los mismos temas y se encontró que las fibras musculares en post-reposo en cama del soleo mostraron incrementos significativos en glucógeno, tanto en el tipo I y fibras tipo IIa (datos no publicados). En contraste, después del vuelo espacial, no se observó diferencia significativa en el glucógeno de la fibra tipo I del soleo (pre-vs después del vuelo), mientras que el glucógeno de la fibra tipo IIa del soleo fue significativamente disminuida después del vuelo (datos no publicados). El hecho de no observar una creciente del músculo después del vuelo el glucógeno del soleo fue probablemente el resultado de la extremadamente baja ingesta dietética durante el vuelo de $24,6 \pm 3,3$ Kcal · kg⁻¹·día⁻¹. Como resultado de la baja entrada calórica, los astronautas perdieron en promedio 2,6 kg de peso corporal, sin embargo, a pesar de esta condición, micrografías electrónicas del músculo Sol demostrado un mayor contenido de gotitas de lípidos en la posterior al vuelo en comparación con los músculos de comprobaciones. Esta observación es consistente con el hallazgo de Musacchia, quienes encontraron un aumento en el almacenamiento de triglicéridos en el músculo vasto medial rata después de un vuelo espacial de 14 días. (¶ 35)

Y en la relación entre la utilización de dichos sustratos y la fatiga muscular Fitts (2000) *et al.*, dice lo siguiente:

El ambiente de micro-gravedad parece aumentar la fatiga muscular durante el trabajo en el espacio y en el retorno a 1 G. Caiozzo estimuló el sóleo de rata in situ y observó fatiga significativamente mayor en el vuelo en comparación con el grupo de control. La causa del aumento de la fatiga es desconocida, pero puede estar

relacionada con una utilización de glucógeno acelerada y una reducción de la capacidad para oxidar grasas. El apoyo a esta hipótesis proviene de la obra de Baldwin. Después de un vuelo espacial de 9 días, se observó una disminución del 37% en la capacidad oxidativa tanto de las regiones de alta y baja del músculo vasto (en rata) para oxidar de cadena larga de ácidos grasos. Ellos no encontraron cambios en la capacidad del músculo para oxidar piruvato o de las enzimas marcadoras clave del ciclo de Krebs o vía β -oxidativa. Los autores plantearon la hipótesis de que la inhibición de cadena larga en post-vuelo la oxidación de ácidos grasos podría resultar de una capacidad reducida para activar o grasas translocan desde el citosol a las mitocondrias. El último proceso es particularmente interesante, ya que es catalizada por la carnitina palmitoiltransferasa (CPT I), que se cree que es la etapa limitante de velocidad en la oxidación de ácidos grasos. (¶41)

Adaptación cardiovascular y redistribución de fluidos.

En micro-gravedad se producen varias adaptaciones en la función del sistema cardiovascular, las mismas incluyen la pérdida de presiones gravitacionales, presiones venosas relativamente bajas, cambios en los fluidos, pérdida de volumen plasmático e intolerancia ortostática después del vuelo y una reducción de la capacidad de ejercicio.

El sistema cardiovascular se adapta muy bien a la ausencia de gradientes de presión tanto en el sistema arterial y venoso y en la disminución de carga sobre el corazón. Las adaptaciones descritas no son funcionalmente aparente durante el vuelo espacial, pero si se vuelven disfuncionales al regreso a un entorno de 1G.

¿Cuáles serían los cambios del sistema cardiovascular en micro-gravedad?

Williams et al. (2009) describe la aclimatación del sistema cardiovascular durante la exposición a micro-gravedad:

La aclimatación del sistema cardiovascular a la ingravidez es compleja y no se entiende completamente. Los mecanismos de control que implican el sistema nervioso autónomo, el funcionamiento cardíaco y vascular periférico, todos juegan un papel. Sin embargo, la causa principal de estas aclimataciones se puede atribuir a una redistribución de fluidos del cuerpo hacia la cabeza. La posición supina de pre-lanzamiento con las extremidades inferiores elevadas por encima del plano coronal toraco-abdominal inicia un cambio de fluido, que continúa durante la órbita, con sangre y otros fluidos que se desplazan desde las extremidades inferiores para el torso y la cabeza. Durante el vuelo el espacio, el volumen de las extremidades inferiores se reduce aproximadamente un 10% (1-2 litros de fluido desde los vasos sanguíneos de las piernas y el compartimiento extravascular) en comparación con antes del vuelo. La plenitud facial y aspecto único de la cabeza hinchada acoplado con un volumen reducido en las extremidades inferiores asociadas con esta redistribución del fluido se conoce anecdóticamente como el síndrome de la "cara hinchada"(bird leg).⁽⁶⁾

La capacidad aeróbica puede ser mantenida o mejorada en el espacio, pero se reduce en la fase posterior al vuelo en gran parte a causa del reducido volumen sistólico y el gasto cardíaco en respuesta al desafío de re-aclimatación ortostática a la gravedad. La redistribución de fluidos corporales con el agrupamiento de volumen de la sangre de vuelta en los vasos sanguíneos de la parte inferior del

cuerpo en asociación con un volumen de sangre intravascular reducido que contribuye al estrés de aterrizaje o insuficiencia ortostática. (¶9)

Wilmore y Costill señalan que:

Cuando el cuerpo se halla sometido a micro-gravedad la sangre ya no se acumula en los miembros inferiores dado que se reduce la presión hidrostática. En consecuencia más sangre vuelve al corazón, ello conlleva un aumento *pasajero* del gasto cardiaco y en la tensión arterial. (¶ 1 parte 4cap 11, pág. 367)

Para Antonutto & di Prampero (2003).

La micro-gravedad es un inductor ambiental extremo y produce cambios adaptativos pertinentes en el cuerpo humano, especialmente después de períodos prolongados de exposición. Desde principios de los años sesenta, numerosos estudios sobre los efectos en micro-gravedad, durante los vuelos espaciales tripulados, han producido una creciente cantidad de información sobre sus efectos fisiológicos, que se define a nivel mundial "falta de condición física". El desacondicionamiento del sistema cardiovascular en microgravedad (ECV) se revisa brevemente. Se compone de: (1) una disminución de la sangre circulante y volúmenes de fluido intersticial, (2) una disminución de la presión arterial diastólica, (3) una disminución de volumen sistólico ventricular, (4) una disminución de la masa del ventrículo izquierdo y un (5) reajuste estimado de los barorreceptores¹² carotídeos.

¹² Los barorreceptores son terminaciones nerviosas sensibles. Detectan los cambios bruscos de la presión arterial, o sea son receptores de presión y se encuentran principalmente en las paredes de la arteria carótida interna y en la aorta.

Hargens AR, Watenpaugh DE (1996) describen que:

Las características prominentes de la exposición micro-gravedad incluyen la pérdida de presiones gravitacionales, las presiones venosas relativamente bajas, cambios de líquidos headward¹³, la pérdida de volumen plasmático y la intolerancia ortostática después del vuelo y la reducción de la capacidad de ejercicio.

Convertino & Hoffler (1992) destacan cambios en la función cardiovascular.

[...] los numerosos cambios en la función cardiovascular se producen como parte del proceso de adaptación fisiológica al ambiente de micro-gravedad. Estos incluyen una elevada tasa del corazón y el cumplimiento venoso, disminución de volumen de sangre, la presión venosa central y el volumen sistólico, y las funciones reflejas autonómicas atenuadas.

En el artículo titulado “Cardiovascular adaptations: can hypergravity exercise training maintain orthostatic tolerance?” podemos encontrar datos como los siguientes:

La exposición a micro-gravedad (es decir, vuelo espacial) en los resultados de varios cambios en la función cardiovascular que incluyen el cumplimiento venosa elevada y la frecuencia cardíaca, disminución de volumen de sangre, la presión venosa central y el volumen sistólico, la atrofia y la función cardíaca barorrefleja atenuada (Frey, 1987; Convertino y Hoffler 1992; Fritsch . et al 1992;. Fritsch-Yelle et al 1994; Convertino y Sandler 1995). Estas adaptaciones cardiovasculares no son funcionalmente aparente durante el vuelo espacial, pero se vuelven disfuncionales

¹³ Es el término que se utiliza para describir la redistribución de fluidos hacia la parte superior del cuerpo puntualmente hacia la cabeza.

para los astronautas a su regreso a un entorno de 1G, que se manifiesta como la intolerancia ortostática (no puede permanecer de pie durante 10 minutos) y hasta una reducción del 25% en la capacidad de ejercicio máximo (Convertino y Hoffler 1992; Convertino 1992; Convertino 1994). (§ 1)

Cambios en la redistribución sanguínea y los fluidos.

Martínez Gonzales Eduardo en su documento publicado “La medicina espacial” describe el cambio que se produce en la redistribución sanguínea.

Una de las acciones más notables en el organismo humano en micro-gravedad se ejerce sobre el sistema cardiovascular dando lugar a varios efectos. Entre algo más de medio y 2 litros de sangre pasan de la parte inferior del cuerpo a la parte superior del cuerpo. Tal redistribución sanguínea se ve acompañada de la dilatación de la aurícula izquierda y derecha del corazón que a su vez es interpretada de modo reflejo por el organismo a través de sus receptores como un incremento de sangre que es regulado por la neurohipófisis como una importante bajada de hormonas anti-diuréticas, producidas por las glándulas endocrinas (post-hipófisis y neurohipófisis). (§56)

Williams et al (2009) nos hablan sobre las adaptaciones en los fluidos:

La reducción del volumen plasmático aproximadamente del 17% deriva transitoriamente en el aumento de los niveles de hematocrito. Esto parece causar una disminución en la secreción de eritropoyetina, que conduce a una reducción en la masa de células rojas de la sangre. El efecto neto es una reducción global de aproximadamente 10% en el volumen de sangre total. (§8)

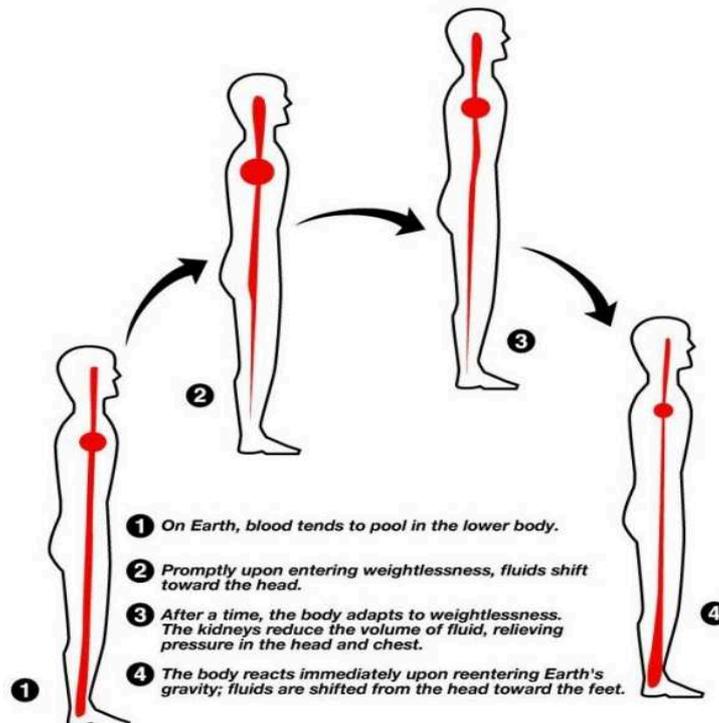


Figura 7. Redistribución del volumen sanguíneo en micro-gravedad.

Fuente: Effects of Microgravity “Space” Environment on Physiologic Homeostasis (American Society of Gravitational and Space Biology)

El mismo autor señala cómo se redistribuyen las presiones del cuerpo en el espacio exterior:

Existe una igualación de las presiones de sangre por todo el cuerpo. La presión arterial media en los pies se reduce desde aproximadamente 200 a aproximadamente 100 mmHg y se aumenta dentro de la cabeza de aproximadamente 70 a aproximadamente 100 mmHg. Se cree que el mecanismo de la hipotensión ortostática posterior al vuelo espacial implica la acumulación de sangre en las piernas que resultan en una reducción de la precarga para el corazón, una disminución en el gasto cardiaco y la presión arterial baja (hipotensión). (¶ 9)

**HYPOTHESIZED
REGIONAL MEAN ARTERIAL PRESSURES (mm Hg)**

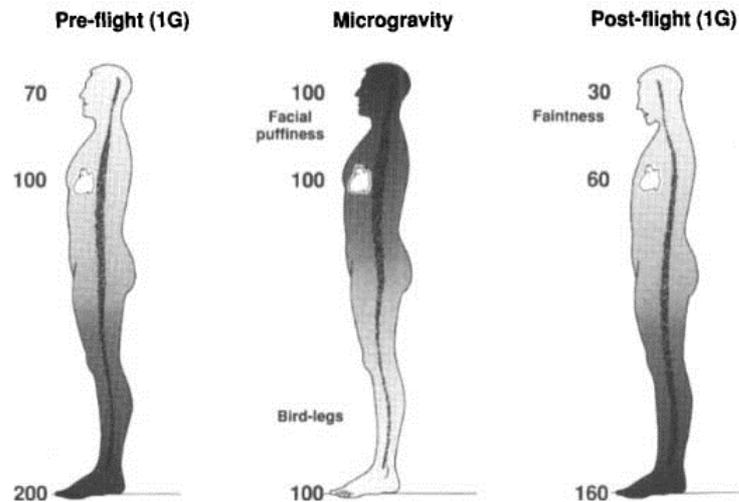


Figura 8. Presiones arteriales redistribuidas.

Fuente: The cardiovascular system in microgravity. Watenpaugh & Hargens.

Las adaptaciones específicas del sistema cardiovascular en condiciones de micro-gravedad son descritas por Iscandar Mina y Kevin Morgan en el documento “Microgravity and the Circulatory System” los cambios en el sistema cardiovascular se dan en distintas fases de la siguiente manera:

Respuestas rápidas.

- Decrece el volumen plasmático.
- Decrece el volumen de circulación sanguínea y de fluido intersticial.
- Incremento en la masa de células rojas sanguíneas y hemoglobina.
- Decrece la presión sanguínea arterial diastólica.

Respuestas adaptativas tardías.

- Decrece de forma adicional el volumen sanguíneo.

-Decrece la concentración de la masa de células rojas sanguíneas y hemoglobina.

-Decrece la presión sanguínea.

-Decrece el volumen sistólico.

Los mismos autores establecen cifras porcentuales. En retorno a la tierra se demostraron los siguientes valores:

7-15% declina el volumen del plasma

2-4% declina el agua total del cuerpo.

15-36% de reducción en el volumen sistólico

8-11% de incremento en la frecuencia cardíaca.

También se pueden encontrar otros conceptos relevantes en cuanto a la intolerancia ortostática. Martínez Gonzales (s.f) los describe de la siguiente forma.

La llamada hipotensión o insuficiencia ortostática causa previamente al desmayo sudoración, alteración del ritmo cardíaco y fuerte malestar, todo ello derivado de la falta temporal del adecuado riego sanguíneo al cerebro por consecuencia de la falta de bombeo de un corazón excesivamente relajado tras su estancia en la micro-gravedad. Los conductos sanguíneos de las piernas tienen o proporcionan un efecto muscular de contracción para facilitar el bombeo de sangre. El relajo en micro-gravedad de tal efecto no facilita la contracción al regreso a la tierra. El modo de combatir este problema es con ejercicios que estimulen el sistema vascular y los músculos; también se ingiere agua salada para aumentar el volumen de los fluidos en el cuerpo. Para combatir el mareo y la hipotensión ortostática en el retorno se

han prescrito pastillas llamadas Midodrine cuyo efecto es aumentar la presión sanguínea mediante la contracción de los vasos.

Para Michael Delp (2006) en “Arterial adaptations in microgravity contribute to orthostatic tolerance” publicado en el *Journal of Applied Physiology* asegura que:

Se demostrado previamente que la intolerancia ortostática después del vuelo se relaciona con una disminución de la capacidad del sistema nervioso simpático para elevar la resistencia vascular periférica, lo que podría ocurrir a través de la función alterada de la extremidad aferente de los barorreceptores, la integración central, el centro de eferentes simpáticas, o bien de la sensibilidad del órgano a la estimulación simpática. (¶ 1)

Para dar datos estadísticos acerca de la intolerancia ortostática Martínez aclara que “los síntomas que experimentan los astronautas no son sistemáticamente general, surge en el 80% de los casos en vuelos de larga duración y en el 20% de los viajes cortos.”

En tanto Williams *et al.* (2009) exponen la siguiente estadística en cuanto a los mismos síntomas.”Por lo general, 1 de cada 4 astronautas es incapaz de mantenerse de pie durante 10 minutos continuos a pocas horas de aterrizar a causa de mareos, palpitaciones y síncope.”

El cuerpo del ser humano reacciona de una manera muy particular cuando vuelve al entorno de 1G. Varios investigadores lo han demostrado. Antonutto & di Prampero (2003) lo describen en su documento titulado “Cardiovascular deconditioning in microgravity: some possible countermeasures.”

Los efectos negativos de la micro-gravedad se basan sobre el desacondicionamiento sobre todo en la reentrada a la Tierra manifiesta. Se componen principalmente de: (1) mareos, (2) el aumento de la frecuencia cardíaca y palpitaciones del corazón, (3) la incapacidad para asumir la posición de pie (intolerancia ortostática), (4) síntomas pre-sincopales debido al estrés postural y (5) una reducción en la capacidad de ejercicio.

Regulación del volumen y composición del fluido corporal.

Como ya se dijo anteriormente el cuerpo sometido a condiciones de micro-gravedad experimenta cambios tanto en el volumen y redistribución de los fluidos corporales como en su misma composición. A continuación se señala como actúan el riñón y las hormonas ante la redistribución de fluidos y que sucede con la concentración de electrolitos en la homeostasis corporal.

Doty¹⁴ & Seagrave (1999) describen la acción renal en micro-gravedad.

Cuando uno se expone a la micro-gravedad, el líquido que se agrupaba normalmente en las extremidades inferiores se redistribuye [...] huesos que soportan peso comienzan a desmineralizarse, debido a la reducción de las tensiones mecánicas. El riñón, que es el principal regulador del volumen y de la composición del fluido corporal, responde al movimiento del fluido y la desmineralización ósea mediante el aumento de la producción de orina de agua, sodio y calcio.

¹⁴ Autor del artículo de investigación "Human water, sodium, and calcium regulation during space flight and exercise." *Acta Astronáutica*, 1999 Nov.; 45(10):647-54. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11542810>

Para Plush Linda la información es limitada, hay una de pérdida de 6.3% en el intercambio de potasio(K⁺), un neto balance negativo en el sodio(Na⁺), baja de Na⁺ y de K⁺ urinario.

Grigoriev, Huntoon, Morukov, Lane, Larina & Smith (1996) indican que sucede con el volumen urinario y que sucede con la filtración glomerular.

[...] resultados indicaron una reducción del volumen urinario, incluso a través de las primeras 48 horas de vuelo. Los volúmenes de fluidos y la tasa de filtración glomerular se incrementaron después de aterrizar, probablemente relacionada con la solución salina de carga utilizada como contramedida por los miembros de la tripulación del transbordador espacial.

Smith¹⁵, Krauhs & Leach (1997) detallan la interrelación entre la regulación del volumen de líquido y las concentraciones de electrolitos en el cuerpo durante en el vuelo espacial.

[...] la masa corporal, el volumen de líquido extracelular, y el volumen de plasma se reducen durante los vuelos espaciales y permanecen así en el aterrizaje, los cambios en el agua corporal total son relativamente pequeños. El suero o plasma de sodio y la osmolaridad en general no han cambiado o reducido durante el vuelo espacial, y la ingesta de líquidos se reduce sustancialmente, sobre todo durante la primera parte del vuelo. [...] Lo que ha sido bien establecido por ahora, es la aparición de una diuresis relativa, donde la ingesta de líquido disminuye más de lo que lo hace el

¹⁵ Miembro de la NASA/Johnson Space Center, Houston, Texas, USA. Autor de "Regulation of body fluid volume and electrolyte concentrations in spaceflight."

volumen de orina. La excreción urinaria de electrolitos ha sido variable durante los vuelos espaciales, pero la retención de líquidos y electrolitos en el aterrizaje se ha observado consistentemente. La tasa de filtración glomerular fue significativamente elevada durante las misiones de SLS, y las pruebas de carga de agua y electrolitos han indicado que la función renal se altera durante la readaptación a la gravedad de la Tierra. El control Endocrino de los volúmenes de fluido y las concentraciones de electrolitos puede ser alterada durante la ingravidez, pero los niveles de hormonas en los fluidos corporales no se ajustan a las predicciones sobre la base de principios de esta hipótesis. La hormona anti-diurética no se suprime, aunque su nivel es muy variable y su secreción puede verse afectada por el mareo espacial de movimiento y los factores ambientales. La actividad de la renina plasmática y la aldosterona son generalmente elevadas en el aterrizaje, de acuerdo con la retención de sodio, pero los niveles en vuelo han sido variables. [...] La actividad del sistema nervioso simpático en vuelo, es evaluada por medición de catecolaminas y sus metabolitos y los precursores en los fluidos corporales, en general, parece no ser mayor que en la Tierra, pero este sistema se activa normalmente en el aterrizaje. Las alteraciones en el volumen de líquido corporal y las concentraciones de electrolitos en la sangre durante los vuelos espaciales tienen consecuencias importantes para la readaptación al medio ambiente 1-G.

Macho, Fickova, Lichardus, Kvetnansky, Carrey, Grigoriev, Popova, Tigranian & Noskov (1992) nos explican los cambios en las hormonas que regulan el metabolismo de electrolitos después de los vuelos espaciales y la hipocinesia(estudios en animales):

Los cambios de las hormonas en plasma implicadas en la regulación del fluido corporal se estudiaron en sujetos humanos durante y después de los vuelos espaciales en relación con la redistribución de fluidos corporales en el estado de ingravidez. La elevación importante se encuentra en el período de recuperación, sin embargo, fue interesante notar que en algunos cosmonautas con exposición repetida a los vuelos espaciales, los niveles de aldosterona en plasma después del vuelo no fueron elevados. La excreción urinaria de aldosterona se incrementó durante el vuelo, sin embargo, en el período posterior al vuelo se encuentran la disminución o aumento en los primeros 5 días. Se observó el aumento de la actividad de la renina plasmática en vuelo y después del vuelo. [...]. Los resultados de la hormona y la determinación de electrolitos en el plasma de los cosmonautas después de los vuelos espaciales y en animales de experimentación después de hipocinesia sugirieron que en la evaluación de las relaciones entre los cambios en los niveles de hormonas y electrolitos en plasma y orina de otros factores como el estrés emocional, la carga de trabajo, ciclos diurnos alterados debe tenerse en cuenta en la interpretación de la respuesta homeostática de fluido y el metabolismo de electrolito a las condiciones de vuelo espacial.

La actuación del sistema endocrino en el vuelo espacial es explicada por Leach, Johnson & Cintrón (1988).

Las hormonas son efectores importantes de la respuesta del cuerpo a la micro-gravedad en las áreas de fluido y el metabolismo electrolítico, eritropoyesis, y el metabolismo del calcio. Durante muchos años la hormona anti-diurética, cortisol y aldosterona se han considerado las hormonas más importantes para la regulación del

volumen del fluido corporal y los niveles sanguíneos de electrolitos, pero no pueden explicar totalmente las pérdidas de líquidos y electrolitos durante el vuelo espacial. [...] factor natri-urético auricular (ANF), es una hormona que recientemente ha demostrado que regula la excreción de sodio y agua, en muestras de sangre obtenidas durante el vuelo. Después de 30 o 42 horas de ingravidez, significa que el ANF fue elevado. Después de 175 o 180 horas, el ANF ha disminuido en un 59%, y cambiado poco desde entonces hasta poco después del aterrizaje. No es probable que un aumento temprano del ANF durante el vuelo este asociado con el movimiento del fluido, seguido por una disminución compensatoria en el volumen sanguíneo. [...]. La eritropoyetina (Ep), una hormona implicada en el control de la producción de células rojas de la sangre, se midió en muestras de sangre tomadas durante la primera misión Spacelab y se redujo significativamente en el segundo día de vuelo [...]

Leach, Altchuler & Cintron-Trevino (1983) relacionan el sistema endocrino y cuáles son las respuestas metabólicas al vuelo espacial.

La ausencia de fuerzas hidrostáticas, lo que resulta en cambios de líquidos corporales, y la ausencia de fuerzas de deformación de los tejidos que normalmente están bajo carga, parece causar las principales alteraciones encontradas durante y después de los vuelos espaciales en los sistemas cardiovascular, de líquidos y electrolitos, eritropoyético, músculo-esquelético, y sistemas metabólicos. Estas alteraciones producen menor volumen de líquido corporal, reducción de la masa musculo-esquelética, y las alteraciones en el metabolismo basal, lo que resulta en los siguientes hallazgos consistentes de los vuelos espaciales: la pérdida de peso, la

composición corporal alterado, disminución de la tolerancia ortostática y una capacidad reducida para hacer frente a la actividad física después de regresar desde un entorno de vuelo espacial. Los cambios específicos incluyen alteraciones en el estado de hidratación, lo que resulta en una relativa deshidratación, la pérdida de las reservas de calcio del cuerpo, con el consiguiente aumento de la atrofia muscular urinaria de hidroxiprolina¹⁶, alteraciones esqueléticas, y un balance negativo de energía después de un vuelo espacial prolongado. Numerosos cambios endocrinos se han determinado durante el vuelo espacial, pero el ensayo más sensible desarrollado recientemente permitirá la determinación cuidadosa de otros niveles de la hormona, y la medición de algunos de los principales cambios que se producen durante las primeras horas de los vuelos espaciales. Estos resultados se integrarán en un modelo de los sistemas de trabajo de la respuesta fisiológica a la ingravidez.

Las respuestas endocrinas en los vuelos espaciales tripulados de larga duración se describen a continuación por parte de Leach & Rambaut (1975).

El bioensayo de experimentos de los líquidos corporales se diseñó para evaluar la adaptación bioquímica que resulta de la exposición prolongada al ambiente espacial mediante la identificación de cambios en el fluido hormonal y los parámetros de electrolitos reflejados en la sangre y la orina de los miembros que participan en la tripulación. Los efectos combinados de los vuelos espaciales incluyen la ingravidez, la aceleración, el confinamiento, la restricción, el mantenimiento a largo plazo de

¹⁶ La hidroxiprolina es un aminoácido no esencial constituyente de proteínas. La hidroxiprolina se encuentra fundamentalmente en el tejido conectivo y óseo

los altos niveles de rendimiento, y la posible **desincronosis**¹⁷. Las mediciones endocrinas para evaluar el coste fisiológico de estas tensiones se han considerado desde dos aspectos. El desequilibrio de líquidos y electrolitos se han correlacionado con la pérdida de peso, cambios en la excreción de aldosterona y vasopresina y los compartimentos de líquidos. La segunda área implica la estimación del coste fisiológico de mantener un determinado nivel de rendimiento durante el vuelo espacial mediante el análisis de catecolaminas y cortisol urinario. La variabilidad inter-individual se demostró en la mayoría de los índices experimentales medidos, sin embargo, han surgido patrones constantes que incluyen: cambio de peso corporal; aumentos en la actividad de renina en plasma; elevaciones en las catecolaminas urinarias, ADH, aldosterona y concentraciones de cortisol. El cortisol plasmático se reduce de inmediato después del vuelo con el consiguiente aumento de orina en 24 horas. Los cambios medidos son consistentes con la predicción de que un aumento relativo en el volumen de sangre torácica en la transición al entorno de gravedad cero se interpretan como una verdadera expansión de volumen que resulta en una diuresis osmótica. Esta diuresis en asociación con otros factores en última instancia resulta en una reducción del volumen intravascular, lo que lleva a un aumento de la renina y un aldosteronismo secundario. Una vez que estos mecanismos compensatorios son eficaces para restablecer el equilibrio positivo de agua, los miembros de la tripulación se consideran esencialmente adaptados al entorno de gravedad nula. Aunque el coste fisiológico de esta adaptación debe reflejar el déficit electrolítico y tal vez otros factores, se supone que el estado

¹⁷ La desincronosis, es un trastorno del sueño que se provoca como resultado de una rápida alteración en el ritmo cicardiano y es provocado por el cruce de los husos horarios.

compensado es adecuado para las demandas del medio ambiente, sin embargo, este nuevo conjunto homeostático no se cree que es sin coste fisiológico y podría, excepto con las debidas precauciones, reducir la reserva funcional de los individuos expuestos.

Leach , Alfrey , Suki , Leonard , Rambaut , Inners , Smith , Lane & Krauhs (1996) nos señalan como es el comportamiento de la regulación del fluido corporal durante los vuelos espaciales cortos.

[...]El agua corporal total no cambió significativamente. El volumen plasmático (VP, $p < 0.05$) y el volumen de líquido extracelular (ECFV, $p < 0.10$) disminuyeron 21 h después de su lanzamiento, que queda por debajo de los niveles pre-vuelo hasta después de aterrizar. La ingesta de líquidos disminuyó durante la ingravidez y la tasa de filtración glomerular (TFG) se incrementó en los primeros 2 días y el día 8 ($P < 0.05$). La excreción urinaria de la hormona anti-diurética (ADH) aumentó ($P < 0.05$) y la excreción temprana de líquidos en vuelo disminuyó ($P < 0.10$). La actividad de la renina plasmática (ARP, $p < 0.10$) y la aldosterona ($P < 0.05$) disminuyó en las primeras horas después del lanzamiento; PRA aumentó 1 semana más tarde ($P < 0.05$). Durante el vuelo, las concentraciones de péptido natri-urético auricular del plasma fueron sistemáticamente inferiores a los medios de verificación previa y la excreción urinaria de cortisol fue generalmente mayor que los niveles de pre-vuelo. La aceleración en el lanzamiento y el aterrizaje probablemente causó aumentos en ADH y la excreción de cortisol, y un cambio de fluido desde el compartimiento extracelular al intracelular explicaría la reducción de ECFV. El aumento de la permeabilidad de las membranas capilares puede ser el mecanismo

más importante que causa la reducción de PV durante el vuelo espacial inducido, que es probablemente mantenida por el aumento de la tasa de filtración glomerular y otros mecanismos [...].

Grigoriev, Morukov & Vorobiev (1994) revisan y resumen los resultados de las investigaciones a largo plazo en los vuelos espaciales desde 18 a 366 días en las estaciones Salyut¹⁸ y Mir¹⁹ sobre el metabolismo hidroeléctrico y regulación hormonal.

[...] A pesar de las variaciones interindividuales, metabólicas y endocrinas los estudios de vuelos espaciales prolongados mostraron una reducción en la masa corporal, por lo general con una reducción en el agua corporal y electrolitos y cambios considerables en las concentraciones de hormonas en la sangre y la excreción urinaria de hormona. Estos cambios reflejan los procesos de adaptación prolongada a un nuevo entorno. Es probable que los cambios en el metabolismo de los electrolitos en la ingravidez se deban principalmente a cambios metabólicos que disminuyen la capacidad del tejido para la retención de iones y a los cambios concomitantes en el estado endocrino. Los exámenes después del vuelo revelaron cambios en el metabolismo de los fluidos y los electrolitos y en la función de los riñones lo que indica un estado de hipo-hidratación y una estimulación de los sistemas hormonales responsable de la homeostasis de fluidos y electrolitos con el fin de readaptarse a la gravedad normal. La disminución en la concentración de

¹⁸ Fue la primera estación espacial emprendida por la Unión Soviética. Fue diseñada para llevar a cabo la investigación a largo plazo sobre los problemas de la vida en el espacio y experimentos astronómicos, biológicos y terrestres, y también se utilizó este programa como cobertura para los militares.

¹⁹ Fue una estación espacial que funcionó en la órbita baja de la Tierra desde 1986 hasta 2001. Fue la primera estación espacial modular y se fue ensamblado en órbita. La estación servía como laboratorio de investigación de microgravedad. Su objetivo fue desarrollar las tecnologías necesarias para la ocupación permanente de espacio .

post-vuelo osmótica de la orina en cosmonautas fue acompañado por una alteración de la respuesta a la hormona anti-diurética y probablemente fue causado por los cambios en el estado funcional de los riñones [...].

A continuación se enuncian y se describen dos variables muy específicas, como la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo, las cuales están estrechamente relacionadas con las adaptaciones que sufre el sistema cardiovascular en micro-gravedad:

Lactato sanguíneo en microgravedad.

Las investigaciones en cuanto al lactato en microgravedad no son muchas. Zamparo (1992) no encuentra en sus investigaciones diferencias significativas en los concentraciones de lactato sanguíneo entre los valores de pre-vuelo y los de vuelo²⁰. Riviere, Pere, Crampes, Beauville, Guell & Garrigues (1990) aseguran un “incremento en la acumulación de lactato en trabajo sub-máximo”

Frecuencia cardíaca en microgravedad.

La frecuencia cardíaca es otro de los parámetros que se tienen en cuenta durante la realización del ejercicio por parte de los astronautas. Los datos obtenidos de los estudios también presentan algunas contradicciones ya que en muchos casos no se especifica si son en la primera etapa de la adaptación al espacio, si es en la segunda etapa o ya estando de regreso en la tierra. Veamos qué es lo que dicen los especialistas.

20 Zamparo P, Capelli C, Antonutto G. (1992) Blood lactate during leg exercise in microgravity. *Acta Astronautica* 1992 Jul; 27:61-4. National Center for Biotechnology Information (NCBI). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11537599>

Para Willmore y Costill (s.f) la frecuencia cardíaca no presento cambios significativos en los valores de pre-vuelo y durante el vuelo en condiciones de reposo, pero si para un vuelo de larga duración y a un ritmo de esfuerzo.

En la siguiente tabla se observan los distintos valores de LA función cardiovascular en reposo en pre-vuelo y en vuelo.

Tabla 1.

Función cardiovascular en reposo, pre-vuelo y durante el vuelo. Misiones, Salyut 1 y 4.

Variables	Misión de 23 días en la Salyut 1		Misión de 63 días en la Salyut 4	
	Previo al vuelo	Durante el vuelo Días 13-21	Previo al vuelo	Durante al vuelo Día 56
Frecuencia cardíaca (latidos/min.)	64 ± 5	65 ± 5	65 ± 3	65 ± 3
Volumen sistólico (ml)	94 ± 3	96 ± 9	84 ± 5	90 ± 2
Gasto cardíaco (l/min.)	6,0 ± 0,5	6,1 ± 0,1	5,5 ± 0,3	5,9 ± 0,3
Tensión arterial sistólica(mmHg)	113 ± 7	122 ± 4'	120 ± 5	130 ± 6
Tensión arterial diastólica(mmHg)	73 ± 3	80 ± 2'	86 ± 4	86 ± 1
Tensión arterial media(mmHg)	86 ± 4	94 ± 2'	97 ± 4	101 ± 2
Velocidad de propagación de la onda de la pulsión aótrica(m/s)	4,4 ± 0,4	4,9 ± 0,1	6,5 ± 0,6	6,4 ± 0,6
Resistencia periférica sistémica(unidades)	15,0 ± 2,7	16,9 ± 2,0'	18,6 ± 1,7	16,9 ± 1,2

Fuente: Fisiología del esfuerzo y del deporte. Willmore y Costill.

A continuación se presentan valores de la función cardiovascular a un ritmo de esfuerzo estandarizado (750 k/min) antes del vuelo y durante los 140 días de la misión soviética en el Salyut 6.

Tabla 2.
Función cardiovascular a ritmo estándar de esfuerzo, antes y durante el vuelo (140 días). Salyut 6.

variables	Antes del vuelo	Durante los días de vuelo. Salyut 6.				
		29	41	62	97	119
Frecuencia cardíaca (latidos/min.)	113 ± 5	113 ± 4	124 ± 12'	116 ± 8	122 ± 7'	128 ± 13'
Volumen sistólico (ml)	136 ± 19	133 ± 20	134 ± 30	120 ± 26'	131 ± 34'	112 ± 20'
Gasto cardíaco (l/min.)	15,3 ± 1,5	15,0 ± 1,7	16,2 ± 2,2'	13,7 ± 2,1'	15,8 ± 3,2	14,1 ± 1,2'
Tensión arterial sistólica(mmHg)	156 ± 2	157 ± 9	156 ± 1	149 ± 2'	144 ± 4'	146 ± 3'
Tensión arterial diastólica(mmHg)	70 ± 4	69 ± 2	70 ± 3	68 ± 5	73 ± 2	69 ± 1
Velocidad de propagación de la onda del pulso aórtico (m/s)	7,5 ± 0,6	7,2 ± 0,8	7,5 ± 0,9	7,9 ± 0,9'	7,8 ± 0,7'	8,5 ± 1,5'
Resistencia periférica sistémica(unidades)	13,6 ± 2,1	12,8 ± 0,9	10,7 ± 2,0'		12,4 ± 2,9'	

Fuente: Fisiología del esfuerzo y del deporte. Willmore y Costill.

Arbeille *et al.* (1991) sostiene que la “frecuencia cardíaca se incrementa en reposo”.²¹

Fritsch (1996) asegura que disminuye la variabilidad de la frecuencia cardíaca.²²

²¹ “Exercise program to prevent cardiovascular and musculoskeletal. Deconditioning during a 30 day spaceflight.” <http://www.edb.utexas.edu/ssn/CCA%20PDF/Other-Spaceflight.PDF>

²² Fritsch-Yelle JM, Charles JB, Jones MM, Wood ML. (1996). Microgravity decreases heart rate and arterial pressure in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. 1985)*, 1996, Mar; 80(3):910-4. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8964756>

Stremel (s.f) afirma que la F.C en modelos bed-rest aumenta tanto en reposo, en ejercicio dinámico y en ejercicio estático.

El Dr. Blomqvist (s.f) informa que la frecuencia cardíaca decrece.

Linda Plush (s.f) en su investigación asegura que la frecuencia cardíaca decrece.²³

Para Moore (2010) la F.C en ejercicio experimenta una elevada al comienzo de la misión para luego bajar en el transcurso de la misión (en la ISS).²⁴

Citando una investigación publicada en el 2012 desarrollada por Fraser, Greaves, Shoemaker, Blaber & Hughson se investigó la frecuencia cardíaca (FC) durante la vida diaria en la Estación Espacial Internacional (ISS). El estudio se llevo a cabo en 7 astronautas en vuelos de larga duración. Los mismos realizan ejercicio aeróbico y de musculación. Los resultados de los estudios arrojaron las siguientes conclusiones:

Los astronautas de la ISS mantuvieron su FC durante las actividades diarias; a su regreso a la Tierra sólo había muy pequeños aumentos en dichos valores, lo que sugiere que la condición física cardiovascular se mantuvo para satisfacer las demandas de las actividades diarias normales.

Desmineralización ósea.

La desmineralización ósea que sufren los astronautas es mucho más grave que la misma atrofia que experimentan los músculos ya que la masa muscular puede reconstituirse de

²³ *Effects of Microgravity "Space" Environment on Physiologic Homeostasis.*

<http://spacemedicineassociates.com/userfiles/file/EffectsofMicrogravity1rev.pdf>

²⁴ Moore, Alan D., Jr.; Evetts, Simon N.; Feiveson, Alan H.; Lee, Stuart M. C.; McCleary, Frank A. & Platts, Steven H. (2010). Maximum Oxygen Uptake During and After Long-Duration Space Flight. *eBook and Texts, NASA Technical Documents*. http://archive.org/details/nasa_techdoc_20100003953

forma más rápida, pero los minerales perdidos en el tejido óseo suelen tardar muchísimo más tiempo en recuperarse.

En una primera aproximación Stepaniak , Furst & Woodard (1986) describen la situación en cuestión.

Una pérdida progresiva de la masa ósea se informó de forma consistente en los seres humanos expuestos a la ingravidez durante el vuelo espacial. El mecanismo de esta alteración metabólica es desconocido, pero puede ser debido en parte a los efectos de la osteoporosis por desuso [...]

Keller & Strauss (1993) aseguran que la causa principal del deterioro óseo es la descarga mecánica sobre el esqueleto. Afirman lo siguiente:

En general se acepta que el factor que más limita la supervivencia humana en este ambiente que no es la Tierra es el fenómeno de desmineralización y los problemas de salud inducidos por el consecuente desequilibrio en el metabolismo del calcio. Las alteraciones de las propiedades esqueléticas se producen como resultado de perturbaciones en el entorno de carga mecánica normal del hueso. Estas alteraciones o "adaptaciones" obedecen a leyes físicas, [...] ²⁵

Heer et al. (1999) nos aporta detalles más precisos acerca de la desmineralización en el esqueleto humano.

²⁵ Keller TS & Strauss AM. (1993). Predicting skeletal adaptation in altered gravity environments. , *Journal of the British Interplanetary Society*, 1993 Mar; 46(3):87-96. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11539499>

La descarga en los huesos que soportan peso, como la inducida por la micro-gravedad o inmovilización, tiene un impacto significativo sobre el metabolismo del calcio y del hueso y es la causa más probable para la osteoporosis del espacio. Durante una estancia de 4,5 a 6 meses en el espacio la mayor parte de los astronautas desarrollan una reducción en la densidad mineral ósea en la columna vertebral, el cuello femoral, trocánter, y la pelvis de 1% -1,6% [...]

Oganov (2004) señala la causa principal de la pérdida de minerales en el tejido óseo, coincidiendo con el planteo de los autores anteriores.

[...]La dirección y la marcación de los cambios en los huesos, la masa ósea y la densidad mineral ósea de contenido mineral, en diferentes segmentos del esqueleto dependen de su posición en relación con el vector de gravedad. Una esperada y teórica reducción de la masa ósea se reveló en las estructuras trabeculares de los huesos de la parte inferior del esqueleto (osteopenia local). En la parte superior del esqueleto, un aumento de contenido de mineral se observó en el hueso, que se considera como una respuesta secundaria y es debido a la redistribución de fluidos corporales cefálico. La causa principal de la osteopenia es la descarga mecánica. [...]²⁶

David Darling (s.f) interrelaciona los distintos hechos que causan la osteoporosis espacial.

²⁶ Oganov VS.(2004). Modern analysis of bone loss mechanisms in microgravity. *Journal of gravitational physiology: a journal of the International Society for Gravitational Physiology* 2004 Jul; 11(2):P143-6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16237819>

Una de las mayores amenazas a la larga duración de las misiones espaciales tripuladas. Aliviado de las tensiones normales producidas por la gravedad, los huesos comienzan a perder calcio y otros minerales más rápido de lo que pueden reemplazarlos. En misiones cortas, como las de la lanzadera de espacio, este no es un problema. Sin embargo, algunos de los huesos de los astronautas y cosmonautas que han pasado meses a bordo de estaciones espaciales que se han encontrado para haber perdido hasta una quinta parte de su contenido mineral, esto aumenta significativamente el riesgo de fracturas . No todos los huesos pierden minerales a la misma velocidad en el espacio. Por ejemplo, los huesos de la parte superior del cuerpo no parecen verse afectados en absoluto, mientras que los huesos que soportan peso en las piernas y la espalda baja experimentan una desproporcionada pérdida. Cuando los huesos pierden minerales, como lo hacen todo el tiempo incluso en condiciones normales, los minerales son transportados por la sangre a los riñones , donde son filtrados por la excreción de la orina. Sin embargo, los niveles elevados de calcio prolongado en el cuerpo, una condición conocida como hipercalciuria, pueden conducir a la formación de cálculos renales que son potencialmente discapacitantes. Esta es una de las razones por las que las dietas de los astronautas no pueden simplemente ser enriquecido con calcio. [...]

Williams *et al.* (2009) señala otros factores que inciden en la desmineralización ósea.

También marca cuales son las zonas más afectadas del cuerpo.

La micro-gravedad induce una pérdida de la densidad ósea. En el entorno de micro-gravedad del espacio, los astronautas ya no están cargados estáticamente por la gravedad. Cargas de impacto esqueléticos asociados típicamente a correr y caminar

en la tierra son muy reducidos o ausentes. Debido a que la remodelación esquelética es dependiente del nivel de tensión dentro del hueso, esta ausencia de carga es importante. Otros factores que pueden contribuir a la pérdida ósea en el espacio incluyen bajos niveles de luz, resultando en una disminución de la vitamina D3, y mayores los niveles ambientales de dióxido de carbono, lo que lleva a la acidosis respiratoria. (§ 23)

La desmineralización ósea comienza inmediatamente después de llegar en el espacio. Durante los primeros días de una misión, un aumento del 60% -70% se ha señalado en el calcio urinario y fecal, que continúa durante toda la misión. [...] (§24)

La pérdida de densidad ósea es de aproximadamente 1% a 2% por mes en los huesos que soportan peso, como las vértebras lumbares, la pelvis, el cuello femoral, trocánter, la tibia y el calcáneo. En estas regiones, la pérdida de la densidad ósea después de una estancia de 6 meses en la estación espacial es típicamente de 8% -12%. Hay grandes diferencias en la pérdida de densidad ósea entre los individuos, así como entre los sitios óseos en un individuo dado. Un viaje a Marte (a 2,5 años de ida y vuelta) deterioraría el hueso a los niveles de osteoporosis si no hay medidas a utilizar. La pérdida de hueso trabecular puede ser tan grande que los osteoblastos serían incapaces de reconstruir la arquitectura del hueso a su regreso a tierra. (§25)

Tras el regreso a la tierra, la pérdida de densidad ósea puede continuar. El proceso de recuperación es generalmente largo y con frecuencia es

mucho más largo que el tiempo de permanencia en el espacio. Al igual que en los pacientes en reposo o con lesiones medulares incompletas, la recuperación ósea puede no ser completa durante varios años. [...]. (¶27)

Después de regresar a la Tierra, los astronautas están temporalmente restringidos de participación en algunas actividades, como volar aviones de alto rendimiento debido a la carga axial del esqueleto asociado con altas fuerzas G. La mayoría de los astronautas en misiones de larga duración en la Estación Espacial Internacional recuperan completamente su densidad ósea a los 3 años después de la huida. Sin embargo, algunos astronautas nunca recuperan los niveles pre-vuelo, y el hueso recuperado puede tener diferente estructura y mineralización. (¶28)

Adaptaciones del aparato respiratorio.

Si bien el aparato respiratorio no se ve afectado con tanta intensidad como el tejido óseo y la masa muscular sufre inevitablemente las adaptaciones lógicas a un entorno nuevo.

La Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT)²⁷ describe las adaptaciones que sufre el aparato respiratorio en este nuevo ambiente:

El aparato respiratorio también se ve afectado por la nueva distribución de líquidos corporales; pulmones y tórax se inundan de líquido. Por otra parte, resulta difícil reconocer las voces de los astronautas en el espacio; las voces son nasales y apagadas por la congestión de la nariz y las cuerdas vocales. Estas alteraciones ceden en poco tiempo.

²⁷ Es una fundación española del sector público. Su fin es impulsar la ciencia, la tecnología e innovación, promover su integración y acercamiento a la Sociedad Creada en 2001 FECYT trabaja para dar a conocer la ciencia que se desarrolla en España

Prisk (2005) explica cómo se comporta el pulmón en el espacio.

El pulmón es exquisitamente sensible a la gravedad, lo que induce a los gradientes de ventilación, el flujo sanguíneo y el intercambio de gas. Los estudios de los pulmones en micro-gravedad proporcionan un medio de elucidar los efectos de la gravedad. Ellos sugieren un mecanismo por el cual la gravedad sirve para que coincida con la ventilación perfusión, para hacer un pulmón más eficiente de lo previsto. A pesar de las predicciones, los pulmones no se vuelven edematosos, y no hay interrupción, el intercambio de gases en condiciones de micro-gravedad. Las alteraciones del sueño en condiciones de micro-gravedad no son el resultado de enfermedades respiratorias relacionadas con los acontecimientos; apnea obstructiva del sueño es causada principalmente por los efectos gravitacionales sobre las vías respiratorias superiores. En micro-gravedad, los pulmones pueden tener un mayor riesgo de los efectos de los aerosoles inhalados.

Conociendo cómo se comporta el pulmón en el espacio o como la micro-gravedad afecta al mismo es necesario saber cómo la ausencia de gradientes hidrostáticos y de fuerzas mecánicas afectan específicamente a estos órganos.

Prisk, Guy ,Elliott & West (1994) explican esta compleja situación.

El pulmón se ve profundamente afectado por la gravedad. La ausencia de gravedad (micro-gravedad) elimina las tensiones mecánicas que actúan sobre el propio tejido alveolar del pulmón, lo que resulta en una reducción en la deformación del pulmón debido a su propio peso, y por lo tanto alterar la distribución de la ventilación de gas fresco en el pulmón. También hay cambios en las fuerzas mecánicas que actúan

sobre la caja torácica y el abdomen, lo que altera la forma en que el pulmón se expande. La otra manera en que la micro-gravedad afecta el pulmón es a través de la eliminación de los gradientes hidrostáticos inducidas por la gravedad de las presiones vasculares, tanto dentro del propio pulmón, y dentro de todo el cuerpo. Se esperaría que la abolición de un gradiente de presión dentro de la circulación pulmonar para dar lugar a un mayor grado de uniformidad del flujo de sangre dentro del pulmón, mientras que la eliminación del gradiente hidrostática dentro del cuerpo debería dar lugar a un aumento del retorno venoso y intratorácica volumen de sangre, con cambios concomitantes en el gasto cardíaco, volumen sistólico y la capacidad de difusión pulmonar. Durante el vuelo de 9 días de Spacelab Life Sciences-1 (SLS-1) ²⁸se recogieron los datos de las pruebas de función pulmonar en la tripulación de la misión. Se compararon los resultados obtenidos en condiciones de micro-gravedad con los obtenidos en el terreno, tanto en el prestigio y posición supina, verificación previa y en la semana inmediatamente posterior a la misión. Algunas de las pruebas en el paquete se dirigen a estudiar los cambios previstos en la función cardiopulmonar, y nos informan los de esta comunicación.

Como se señaló antes la estancia en micro-gravedad puede ser de corto o a largo plazo, pronunciando más los efectos en esta segunda variante.

Linnarsson (1996) expone como los efectos de la micro-gravedad a corto o a largo plazo actúa sobre los el sistema respiratorio.

²⁸ Spacelab Life Science-1 (SLS-1), fue la primera misión Spacelab dedicada exclusivamente a las ciencias biológicas. El objetivo principal de la misión fue estudiar los cambios fisiológicos que se producen durante el vuelo espacial, y el reajuste a la gravedad de la Tierra. Se lanzó el SLS-1 a bordo del transbordador espacial orbital Columbia (STS-40), en junio de 1991.

Durante la exposición en micro-gravedad de corta duración los pesos de los órganos circundantes son eliminados, y los pulmones alcanzan un volumen ligeramente reducido. La Micro-gravedad a largo plazo puede conducir a la falta de condición física de los músculos respiratorios. Por lo tanto, los datos sobre la función pulmonar en el hombre en micro-gravedad confirman que la gravedad es un factor determinante de la distribución de la ventilación y la perfusión en el pulmón. [...] tanto para la ventilación y la perfusión, se hallan inhomogeneidades significativas de distribución que persisten también en el estado de ingravidez, que muestra que los factores no relacionados con la gravedad también juegan un papel importante.

Los siguientes autores señalan adaptaciones en las capacidades y volúmenes pulmonares.

Engel (1991) describe cambios en la capacidad vital y en la capacidad residual del aparato respiratorio:

La capacidad vital se reduce sólo ligeramente, pero la capacidad residual funcional se reduce en aproximadamente 10% y máximos de flujo espiratorio se redujo ligeramente, especialmente en bajos volúmenes pulmonares. La ingravidez disminuye la circunferencia abdominal, aumenta el cumplimiento abdominal y aumenta considerablemente la contribución abdominal a volumen corriente durante la respiración en reposo. A pesar de estos cambios, no parece haber ninguna alteración en el patrón temporal de la respiración. Sin embargo, la deposición de las partículas de aerosol de

tamaño medio se reduce sustancialmente, como se predijo por los análisis del modelo de sedimentación gravitacional.²⁹

Guy , Prisk , Elliott , Deutschman & West (1994) aseguran que “ La gravedad [...] causa falta de homogeneidad de la ventilación”

West, Elliot, Chico & Prisk (1997) midieron la función pulmonar de los astronautas en vuelo y se obtuvieron los siguientes resultados.

Las mediciones de la función pulmonar se realizaron en los astronautas durante los vuelos espaciales de transporte duraderos 9 y 14 días, y se compararon con las mediciones terrestres extensas antes y después de los vuelos. En comparación con las mediciones de verificación previa, el gasto cardíaco aumenta en un 18% durante el vuelo espacial, y el volumen sistólico aumenta en un 46%. Paradójicamente, el aumento en el volumen sistólico se produjo en la cara de las reducciones en la presión venosa central y el volumen de sangre circulante. La capacidad de difusión aumentó en un 28%, y el aumento de la capacidad de difusión de la membrana alveolar inesperadamente grande basa en los hallazgos en la gravedad normal. El cambio en la membrana alveolar puede reflejar los efectos de llenado uniforme del lecho capilar pulmonar. Las distribuciones de flujo de sangre y la ventilación en todo el pulmón eran más uniforme en el espacio, pero algunos permanecieron en desnivel, lo que indica la importancia de los factores no gravitacionales. Un hallazgo sorprendente fue que el volumen de cierre de las vías respiratorias fue aproximadamente la misma en condiciones de micro-gravedad y en la gravedad

²⁹ Engel LA. (1991) Effect of microgravity on the respiratory system. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md. 1985), 1995 May; 70(5):1907-11. Review. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1864769>

normal, haciendo hincapié en la importancia de las propiedades mecánicas de las vías respiratorias para determinar si se cierran. El volumen residual se redujo de forma inesperada en un 18% en condiciones de micro-gravedad, posiblemente debido a la expansión alveolar uniforme. Los resultados indican que la función pulmonar se altera en gran medida en micro-gravedad, pero ninguno de los cambios observados hasta ahora aparentemente limitará los vuelos espaciales de larga duración. Además, los datos ayudan a aclarar cómo la gravedad afecta a la función pulmonar en el ambiente normal de la gravedad en la Tierra.

Prisk (2000) describe la capacidad de difusión, perfusión y ventilación pulmonar.

[...] se realizaron estudios exhaustivos de los pulmones en micro-gravedad (ingravedez). Aumenta el volumen sistólico en la exposición inicial en micro-gravedad y luego disminuye a medida que el volumen sanguíneo circulante se reduce. La capacidad de difusión aumenta notablemente, debido al incremento tanto del volumen sanguíneo capilar pulmonar y la capacidad de difusión de membrana, probablemente debido a la perfusión pulmonar más uniforme. Tanto la ventilación y la perfusión se vuelven más uniforme en todo el pulmón, aunque hay mucha inhomogeneidad residual. . Hay cambios inesperados en la mezcla de gas en la periferia del pulmón, y la evidencia sugiere que existe la falta de homogeneidad intrínseca del pulmón.

Baevsky et al. (2007) señala cuales son las adaptaciones en los volúmenes pulmonares:

En cuanto a los volúmenes pulmonares³⁰ se encontró que se reduce durante el vuelo espacial a corto plazo. El volumen corriente, la ventilación pulmonar, y la tasa metabólica resultaron ser reducidas en comparación con los valores de pre-vuelo. La capacidad vital y la fuerza de los músculos respiratorios se mantienen durante los vuelos espaciales de larga duración.

Consumo máximo de oxígeno (VO₂max.).

El consumo máximo de oxígeno en microgravedad es una de las variables que más diferencias presenta entre los distintos estudios que se han realizado. Wilmore y Costill en su libro “Fisiología del esfuerzo y del deporte” parte 4, capítulo 11, pág. 372 afirman que “los astronautas de Skylab 4 [...] todos ellos aumentaron su VO₂max desde sus valores previos al vuelo hasta el término de su misión (84 días). [...] estos astronautas no experimentaron desacondicionamiento cardiorespiratorio durante ese periodo.”

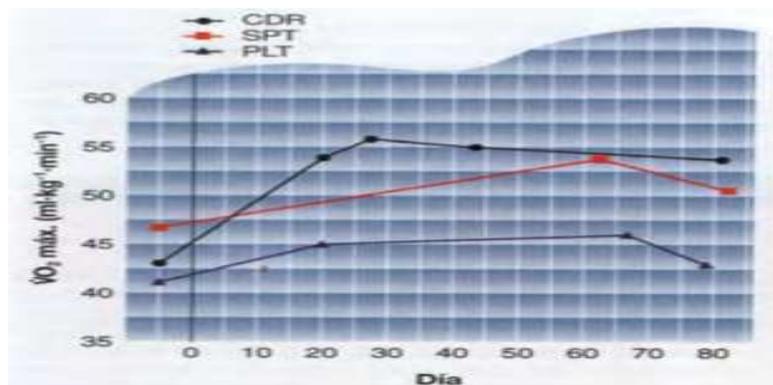


Figura 9. Cambios en el VO₂ máx desde antes del vuelo y a lo largo de 83 días en el espacio en Skylab 4

Fuente: Fisiología del esfuerzo y del deporte. Willmore y Costill.

³⁰ Los volúmenes pulmonares son: Volumen corriente (VC), volumen de aire inspirado o espirado en cada respiración normal, Volumen de reserva inspiratorio (VRI), volumen adicional máximo de aire que se puede inspirar por encima del volumen corriente normal mediante inspiración forzada; Volumen de reserva espiratorio (VRE), cantidad adicional máxima de aire que se puede espirar mediante espiración forzada, después de una espiración corriente normal, Volumen residual (VR), volumen de aire que queda en los pulmones y las vías respiratorias tras la espiración forzada.

Stremel, Covertino, Bernauer & Greenlaf (1976) aseguran que “decrece el consumo máximo de oxígeno” ya sea en ejercicio estático, o ejercicio dinámico; cabe aclarar que sus experiencias se basan en modelos bed-rest (reposo en cama).

Moore, Evetts, Feiveson, Lee, McCleary & Platts (2010) en su artículo de investigación sobre el VO₂ máx. durante y después de los vuelos espaciales detallan que:

“[...] Cuando se midió el VO₂ máx. en los experimentos del transbordador espacial, los investigadores informaron que no ha cambiado durante los vuelos espaciales de corta duración, pero disminuyeron inmediatamente después del vuelo. [...] la tripulación del Skylab indicó que VO₂ máx. se mantuvo durante el vuelo.”

Para el Dr. Blomqvist. (s.f) en su documento publicado por la NSBRI (National Space Biomedical Research Institute.) asegura que:

[...] la capacidad de absorción de oxígeno del cuerpo (VO₂ máx.) también se redujo. Una razón parece ser que el cuerpo tiene menos fluidos a circular por el cuerpo. Sin un sistema de suministro de oxígeno adecuado, el cuerpo no puede ejercerse como lo hizo antes de viajar al espacio. [...] los astronautas recuperaron su resistencia después de unos días o quizás semanas de estar de vuelta en la tierra.

(¶ 18 parte 5)

En la siguiente tabla se observan los valores del VO₂ máx., de los astronautas antes, durante y post vuelo:

Tabla 3.

Valores de pre-vuelo, en vuelo y post-vuelo de ejercicio máximo (CO = gasto cardíaco, HR = frecuencia cardíaca).

MAXIMAL EJERCICIO DE LAS PRUEBAS				
	Potencia de salida (W)	VO ₂ máx. (l / min)	CO (litros / min)	HR (latidos / min)
ANTES DEL VUELO	233 ± 63	2,76 ± 0,81	18,9 ± 2,3	179 ± 17
En vuelo	211 ± 59	2,65 ± 0,64	N / A	170 ± 24
POST vuelo	200 ± 78 *	2,14 ± 0,49 *	14.5 ± 2.5 *	176 ± 15
* - Medición es significativamente diferente de pre-vuelo. N/A- datos no está disponible				

Fuente: *Human Physiology in Space Cardiovascular Function during Exercise*. Blomqvist.

Termorregulación corporal en microgravedad.

La capacidad física de trabajo después del reposo en cama (bed-rest) y del vuelo espacial puede impedir al cuerpo de regular la temperatura durante el reposo y ejercicio, lo que podría conducir a un excesivo calor en el esfuerzo y producir lesiones.

Leach, Leonard, Rambaut & Johnson (1978) exponen las siguientes conclusiones de los estudios realizados en su artículo de investigación “*Evaporative water loss in man in a gravity-free environment.*”

Los resultados sugieren que la ingravidez disminuyó las pérdidas de sudor durante el ejercicio y, posiblemente, reduce las pérdidas de la piel, así insensibles. El entorno de ingravidez aparentemente promueve la formación de una película de sudor observada en la superficie de la piel durante el ejercicio mediante la reducción de flujo de convección y el goteo de sudor, lo que resulta en altos niveles de humedad de la piel que favorecen la supresión de sudor.

Por su parte Fortney (1998) estudio a dos tripulantes masculinos de la misión Mir realizando los mismos un protocolo de pedaleo en decúbito supino sub-máximo (20 minutos a 40% y 20 minutos al 65% del VO₂ pico). Este informe determinó la sensibilidad

de las respuestas de pérdida de calor que se reducen después del vuelo espacial de larga duración, lo que resulta en una tasa más rápida de aumento de la temperatura central.

Crandall , Johnson , Convertino , Raven & Engelke (1994)

[...] datos sugieren que la exposición HDT (reposo en cama) reduce las respuestas termorreguladoras al estrés por calor. Los mecanismos que resultan en una respuesta termorreguladora tales alteraciones son desconocidas, pero probablemente están relacionados con la deshidratación relativa que acompaña a esta exposición.

Yu Xj & Yang Td (2000) en base a estudios de microgravedad simulada afirman que:

[...] las respuestas al estrés por calor en los hombres después de exposiciones HDT eran mayor tasa de aumento de la temperatura rectal, tasas de incremento atenuadas de temperatura de la piel y la conductancia de calor del cuerpo, menos disipación de calor desde el núcleo a la piel y una mayor sensibilidad de la sudoración, etc. [...] ³¹

La alteración en la termorregulación corporal es abordada por autores asociados y la describen en una publicación electrónica titulada “Reduced muscle mass, strength and performance in space”

El gasto humano de energía da como resultado la generación de calor. El calor corporal generado por las actividades normales, y en particular por el ejercicio, desencadena mecanismos de regulación homeostática con el objetivo de mantener la temperatura corporal dentro de su relativamente estrecho rango fisiológico [...]. El ambiente de ingravidez del vuelo espacial puede afectar la disipación de calor

³¹ Yu Xj & Yang Td. (2000). Ground-based studies on thermoregulation at simulated microgravity by head-down tilt bed rest. *Space Med & Medical Engineering (Beijing)*, 2000 octubre; 13 (5):382-5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11894879>

mediante la reducción de evaporación y el intercambio de calor por conducción. Micro-gravedad y los vuelos espaciales pueden perturbar los mecanismos de termorregulación del cuerpo, alterando la eficiencia en el trabajo, la tasa metabólica, o los ritmos circadianos de la producción de calor. Además, los viajeros espaciales humanos a menudo no están bien hidratados, tienen una disminución del 10-15% en el líquido intravascular (plasma) de volumen, y pueden perder tanto sus niveles de aptitud muscular y cardiovascular pre-vuelo, así como su capacidad de termorregulación. Como resultado, pueden llegar a ser menos aclimatados al calor o que puedan adquirir una sensibilidad térmica alterada. ([82])

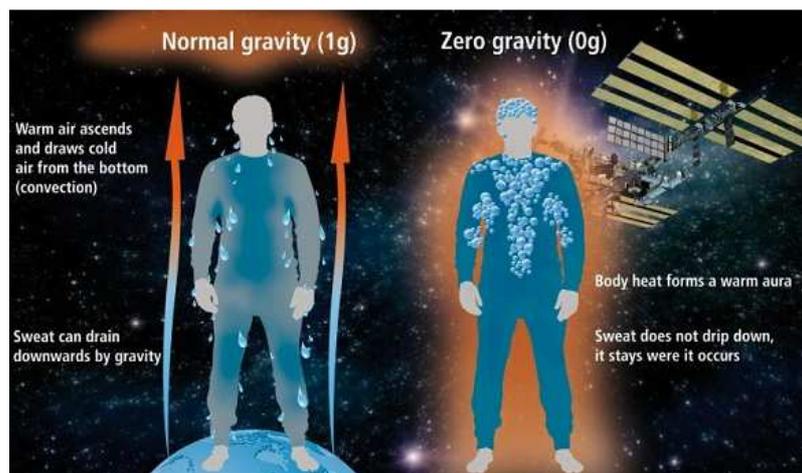


Figura 10. El gráfico señala la distribución de la temperatura corporal en la tierra y en el espacio

Fuente: Spacetex project prepares for lift-off

Manifestaciones de termorregulación alterada incluyen aumento de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal durante el ejercicio, disminución de la capacidad de trabajo y resistencia, disminución de la tolerancia ortostática después del vuelo, disminución de la capacidad cognitiva, y un retraso en la recuperación de la capacidad de ejercicio y la resistencia después del vuelo. ([83])

[...] miembros de la tripulación mostraron un aumento más rápido en la temperatura corporal durante la sesión de ejercicio después del vuelo corto más que durante la sesión de verificación previa; se concluyó que la producción de calor no se vio alterada, pero que el deterioro de la disipación de calor debido a la vasodilatación alterada y respuestas sudoración fueron responsables de la mayor tasa de aumento de la temperatura corporal central. (¶84)

Demandas fisiológicas de las EVA.

Las actividades extra-vehiculares o también llamadas por sus siglas en inglés EVAs (Extra Vehicular Activity), son todas las actividades que se llevan a cabo fuera de la nave espacial tales como recolección de muestras, exploración, montaje, acoplamiento, reparación y mantenimiento del exterior de la nave y demás.

La NASA nos ofrece una definición más técnica:

EVA es cualquier actividad realizada por un miembro de la tripulación a la presión adecuada en ambientes sin presión o espaciales. EVA comienza con la despresurización del módulo de bolsa de aire o en el espacio, y termina con la represurización del módulo de espacio o cámara de aire después de la entrada de miembro de la tripulación.³²

Básicamente estas actividades se dividen en: actividades extra-vehiculares programadas (tareas programadas para apoyar las operaciones de misión), actividades extra-vehiculares no programadas tareas no programadas que son necesarias para lograr o mejorar la misión y

³² Nasa. Man-Systems Integration Standards. Revision B, July 1995 Volume I, Section 14 EXTRAVEHICULAR ACTIVITY (EVA).

actividades extra-vehiculares de contingencia (tareas que se realizan para cumplir y garantizar la seguridad de la nave o de la tripulación)

Las EVAs tienen un papel de gran importancia en los vuelos espaciales prolongados ya que estas tareas son más frecuentes y necesarias (Osipov Yu Yu, 1998).

Estas actividades demandan una gran exigencia física y elevan los valores fisiológicos como frecuencia cardíaca, VO₂máx, y consumo calórico.

Para Barer (1989) "Las respuestas fisiológicas a las EVA se determinan principalmente siguiendo 3 factores: actividades fisiológicas; parámetros ambientales del traje espacial; estrés fisiológico." ³³

Si nos preguntamos por el consumo máximo de oxígeno durante las EVA Greenleaf, Bulbulian, Bernauer, Haskell & Moore (1989) nos hablan de la relación entre el VO₂máx y estas actividades:

Las EVA -200Kcal.h⁻¹(-0.7 litros O₂.min⁻¹) y se han extendido hasta 500Kcal.h⁻¹(1.7 litros O₂. min⁻¹). En el apolo las EVAs llegaron a 150-160 ppm y 2,0 hasta 2,7 litros O₂. min⁻¹(este es el coste metabólico d una tarea de salida de emergencia)

Cowell (2002) describe otras demandas fisiológicas de las EVA:

Los astronautas pueden deshidratarse durante 5 horas de EVA hasta un 2,6% de su peso corporal. Demanda del 26 al 32% del VO₂ máx en la parte superior del cuerpo, del 10 al 20% de fuerza en el brazo y del 20 al 30% de fuerza en el muslo.

³³ .Barer AS. (1991). EVA medical problems . *Acta Astronautica* 1991;23:187-93. Review. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11537123>



Fig.11. Astronautas realizando actividades extra-vehiculares(EVA)

Fuente: NASA Images. STS-110 Extravehicular Activity (EVA)

http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_42.html

Viendo las demandas que presentan a nivel fisiológico estas actividades extra-vehiculares entendemos por qué el ejercicio físico cumple un rol fundamental y de básico en la realización de las EVAs.

Peso, composición corporal y metabolismo de proteínas en el espacio.

En su regreso a la tierra se evidencia en los astronautas cambios en el peso corporal y el metabolismo de las proteínas. Los mismos son producidos por la exposición a la micro-gravedad. Varios investigadores han estudiado este fenómeno.

Wilmore y Costill describen los cambios en la composición y el corporal:

Se ha descubierto que el peso y la composición corporal cambian sustancialmente como consecuencia tanto del reposo en cama como en micro-gravedad durante los

vuelos espaciales. Miembros de la tripulación Apolo en promedio perdieron 3,5 kg y los de Skylab perdieron una media de 2,7kg. El cambio en el peso corporal individual vario desde una ganancia de 0,1 kg hasta una pérdida de 5,9 kg. La pérdida de peso en vuelos de uno a tres días parece sobre todo a la perdida de fluidos. En vuelos de 12 días o más la perdida de fluidos representa aproximadamente el 50% de disminución del peso corporal y la pérdida restante es de grasa y proteínas. En el Skylab se analizó la pérdida de peso corporal medio (2,7kg) y se obtuvieron los siguientes datos:

- 1,1 kg de agua corporal total
- 1,2 kg de grasas
- 0,3 kg de proteínas
- 0,1 kg de otras fuentes

Stein & Gaprindashvili (1994) señalan la pérdida de proteínas y su etiología:

Las misiones espaciales han demostrado que en los humanos se asocia con una pérdida de proteína del cuerpo. Los cambios específicos incluyen una pérdida de masa corporal magra, disminución de la masa muscular en las pantorrillas, disminución de la fuerza muscular, y los cambios en las proteínas del plasma y aminoácidos [...] La pérdida más significativa de la proteína parece ocurrir durante el primer mes de vuelo. La etiología se cree que es multifactorial, con la colaboración de la atrofia por desuso, la desnutrición, y un tipo de estrés de la respuesta. [...]

Para Ferrando, Paddon-Jones & Wolfe (2002) el problema radica en la síntesis de proteínas:

Vuelo espacial altera el metabolismo de las proteínas de manera que el cuerpo es incapaz de mantener las tasas de síntesis de proteínas. Una ingesta hipocalórica concomitante y una alteración de los perfiles hormonales anabólicos / catabólico pueden contribuir o exacerbar este problema [...] ³⁴

Heer, De Santo, Cirillo & Drummer (2001) creen que el principal problema se encuentra en una nutrición deficiente:

El consumo diario de energía [...] que redujo la masa corporal es probablemente causado por un consumo insuficiente de energía y sus efectos son varios. Estos incluyen la metabolización de las reservas de energía endógenas, es decir, el glucógeno, la proteína, y grasa. Movilización de glucógeno y proteínas tampones que también hará que el agua que está ligada a tanto que se pierde. Por lo tanto, una disminución gradual en la masa corporal y una reducción concomitante en el fluido corporal total se produce sin un aumento significativo en el flujo de orina o la natriuresis. En conclusión, la pérdida de masa corporal en micro-gravedad es probablemente el resultado de la desnutrición en lugar de la diuresis y la natriuresis causado por el movimiento del fluido. ³⁵

³⁴ Ferrando A, Paddon-Jones D & Wolfe R. (2002). Alterations in protein metabolism during space flight and inactivity. *Nutrition*. 2002 Oct; 18(10):837-41. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12361775>

³⁵ Heer M, De Santo N.G, Cirillo M & Drummer C. (2001). Body mass changes, energy, and protein metabolism in space. *American Journal of Kidney Diseases: the official journal of the National Kidney Foundation*, 2001, Sep; 38(3):691-5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11532708>

Martínez Gonzales establece un promedio en la pérdida de peso en los astronautas.

La pérdida de peso de astronauta en el espacio llega también con la disminución de la grasa, con un promedio de 1,2 Kg por persona y vuelo de un par de meses. La compensación de este factor viene dada en el aumento de calorías en la alimentación, en unas 800 kilocalorías [...]

Adaptaciones en órganos internos y otros.

La FECYT señala otras series de adaptaciones que ocurren en los distintos órganos sensoriales

Órganos de los sentidos:

Al principio del vuelo, debido a la acumulación de líquidos en la cabeza, los astronautas sufren un ligero aumento en la presión ocular, lo cual provoca una visión borrosa. También es común que en la oscuridad que los rodea, perciban luces o trayectos luminosos, lo cual obedece a que ciertos rayos cósmicos que atraviesan el tejido retiniano y se observan así. Esta sensación pasa pronto y curiosamente en gravedad cero la visión no sólo se conserva en buen estado, sino que se agudiza.

Los estudiosos de la medicina espacial señalan que la visión es el órgano sensorial menos afectado por la ingravidez, ya que el olfato disminuye debido a la congestión, y las papilas gustativas de la lengua no funcionan bien por problemas de difusión. Aunque el oído externo no padece cambios, el aparato vestibular del oído interno se ve severamente afectado. Por su parte, el tacto tampoco es de gran ayuda al principio del viaje, ya que los astronautas no perciben a través de los receptores del tacto y no pueden asir objetos pequeños por el mal funcionamiento de los receptores de presión en la piel.

Adaptación neuro-vestibular.

La ingravidez puede provocar desorientación, mareo por movimiento y pérdida del sentido de la orientación en muchos astronautas. Estos problemas aparecen porque el cerebro evalúa información proveniente de numerosos órganos de los sentidos, particularmente los ojos, los órganos vestibulares del oído interno y el mecano-receptor de los músculos y articulaciones. Estos órganos ayudan al organismo a mantener el equilibrio y posibilitan la orientación del cuerpo respecto a la posición y la dirección. En el regreso, los astronautas deben reajustarse a la gravedad terrestre y pueden sufrir mareo por movimiento. Estos problemas empiezan durante la reentrada o en el aterrizaje cuando los movimientos de la cabeza puedan causar vértigo. Inmediatamente después del aterrizaje, muchos astronautas tienen problemas al ponerse en pie, al estabilizar la mirada, al andar y al girar. Estos efectos en el equilibrio son similares a los de los pacientes con enfermedades vestibulares y cerebelosas. Las investigaciones en este campo van encaminadas al desarrollo de contramedidas de entrenamiento antes y durante el vuelo para permitir a los tripulantes adaptarse más rápidamente a los cambios gravitacionales.

Carpenter *et al.* (2010)³⁶ nos describe más adaptaciones, entre ellas la alteración de la cicatrización, la alteración de la función sensorio-motora y la expansión del disco intervertebral:

³⁶ Effects of Long-Duration Spaceflight, Microgravity, and Radiation on the Neuromuscular, Sensorimotor, and Skeletal Systems. *Journal of Cosmology*, October-November, Vol 12. <http://journalofcosmology.com/Mars147.html>

Alteración de la cicatrización.

Además de las pérdidas de hueso y músculo que se producen en los vuelos espaciales, estos tejidos y otros, también presentan una capacidad de alteración de la cicatrización en un entorno de gravedad reducida. Tanto los estudios en animales terrestres y en vuelo han mostrado problemas de cicatrización de las fracturas (Sweeney et al, 1985; Kaplansky et al 1991; Kirchen et al 1995; Midura et al 2006). También se observó un proceso de reparación retardada en lesiones por aplastamiento del músculo en un estudio en animales a bordo del bio-satélite Cosmos 2044 (Stauber et. Al 1992), y un estudio de transporte basado en las heridas de incisión abdominal en ratas demostró un proceso de curación anormal caracterizado por aumento de la respuesta inflamatoria y la formación de tejido cicatricial (Bolton et al. 1997). Estudios con modelos de base en tierra utilizando la descarga de la extremidad posterior de ratas y ratones, que no permitan ninguna carga de peso por las patas traseras de los animales y simulan efectivamente los cambios que se producen durante los vuelos espaciales, han demostrado la alteración de la cicatrización de los ligamentos (Provenzano et al 2003; Martínez et al. 2007), la córnea (Li et al. 2004), y la piel (Radek et al. 2008). Aún no está claro cuáles son los factores biológicos que conducen a problemas de cicatrización en los viajes espaciales. Mientras que la carga mecánica se sabe que es una parte esencial de la curación exitosa en los huesos y ligamentos en un entorno clínico, el papel del entorno mecánico en la curación de los músculos, la córnea, y la piel no se entiende bien. Es posible que los efectos de la reducción de la gravedad sobre los vasos sanguíneos sean un factor importante que afecta a la cicatrización del tejido (Vico 2007). Los efectos de la radiación cósmica en la cicatrización de los tejidos tampoco

se entienden todavía completamente. El descubrimiento de los mecanismos responsables de la alteración de la cicatrización en una amplia variedad de tejidos, será un aspecto importante de la medicina espacial en la planificación de una misión a Marte.

Tendrá el musculo esquelético la respuesta tardía de curación a tener en cuenta en la planificación de una misión a Marte. Tendrá que ser ajustado con tiempos de curación más en mente, el stock de provisiones médicas a bordo de la nave espacial y el módulo de aterrizaje y las capacidades médicas de la tripulación seleccionada para la misión (por ejemplo, si desea incluir un cirujano de vuelo u otro personal médico). En el caso de las heridas externas, un tiempo de curación más largo también se traducirá en un aumento de la posibilidad de infección, lo que podría tener consecuencias importantes para un viaje que se espera abarcar varios años.

Función sensorio-motora.

La exposición a la microgravedad induce a una reinterpretación del centro de adaptación de la información visual, vestibular y propioceptivo. Sin embargo este estado adaptativo en micro-gravedad, , no es apropiado para un ambiente de 1-g, ya que los astronautas deban pasar tiempo readaptación a la gravedad de la Tierra después de su regreso. Durante este período de readaptación existen alteraciones en la percepción, la orientación espacial, la postura, la marcha, el control manual y la coordinación ojo-cabeza (Reschke et al. 1998). Los astronautas tienen dificultad para caminar después de regresar de los vuelos espaciales debido a alteraciones en múltiples sistemas encargados del control de la locomoción incluyendo alteraciones en la activación de los patrones musculares de las piernas, coordinación cabeza-tronco y la orientación espacial (Bloomberg y Mulavara 2003). Las pruebas de la

movilidad funcional después del vuelo espacial de larga duración usando una pista de obstáculos ha demostrado que la recuperación toma un promedio de 2 semanas después del aterrizaje, que es similar a la observada para la recuperación en el control del equilibrio postural después de un vuelo espacial de larga duración (Mulavara et al. 2010). Después de los vuelos espaciales, los astronautas también experimentan cambios en la función refleja otolito-espinal (Reschke et al, 1984;.. Watt et al 1986). Estos mecanismos reflejos son esenciales para muchas respuestas motoras pre-programadas, tales como los necesarios para estabilizar la postura después de un salto voluntario hacia abajo desde una plataforma y por lo tanto los astronautas experimentan una interrupción en su capacidad para mantener el equilibrio postural al realizar estas tareas (Newman et al. 1997). Alteraciones posturales de la marcha tienen importantes implicaciones para el desempeño de las tareas operativas que requieren la deambulación inmediatamente después de aterrizar en una superficie planetaria incluyendo una rápida salida de emergencia de un vehículo de aterrizaje.

Las habilidades motoras se modifican en condiciones de micro-gravedad, lo que disminuye las tareas de destreza manual, tales como el seguimiento, señalando y agarrando (Bock et al 2003; Bock y Bloomberg 2010). Dependiendo de la situación, la velocidad de movimiento, la precisión y / o los costes cognitivos de la realización de la habilidad puede ser afectada. La reinterpretación central de las entradas sensoriales de los órganos vestibulares tiene efectos adversos en la estabilización de la mirada por el reflejo vestíbulo-ocular, y por lo tanto se degrada la coordinación ojo-cabeza y la adquisición de blanco visual. El control de la mirada deficiente experimentando durante los períodos de cambio adaptativo

durante los primeros días de la exposición a la micro-gravedad y la re-exposición a un entorno gravitacional puede causar visión borrosa y decrementos en la agudeza visual dinámica causada por una disminución de la capacidad para mantener un objetivo visual estabilizado en la retina durante la mirada y el movimiento del cuerpo (Paloski *et al.* 2008). La disminución de la agudeza visual dinámica, junto con los cambios en el control manual presenta un conjunto único de problemas para los astronautas, especialmente durante la entrada, el enfoque y el aterrizaje en la superficie planetaria.

La expansión del disco intervertebral.

Los discos intervertebrales ayudan a apoyar y amortiguar las fuerzas de compresión en la columna vertebral. Estas fuerzas de compresión, que resultan de una combinación de fuerzas de reacción del suelo y la contracción de los músculos posturales durante la vida diaria en un entorno de 1-G, se reducen drásticamente durante la vida en condiciones de micro-gravedad. La expansión de los discos intervertebrales en micro-gravedad produce alargamiento la columna vertebral y conduce a aumentos de altura en los miembros de la tripulación de hasta 6 cm (Wing *et al.* 1991; LeBlanc *et al.* 1994). Al menos la mitad de los miembros de la tripulación reportan dolor de espalda durante el vuelo espacial y al reanudarse el funcionamiento normal de la columna después del aterrizaje (Wing *et al.* 1991). La expansión de los discos intervertebrales durante los vuelos espaciales puede ser la causa de, o al menos en relación con, el dolor de espalda inferior experimentado durante los vuelos espaciales y tras el retorno a la Tierra. Si bien el cambio en el tamaño del disco es reversible para misiones relativamente cortas, largos períodos de vuelo espacial puede resultar en efectos más duraderos. El tamaño del disco

vuelve a la normalidad en pocos días después de cinco semanas de reposo en cama, mientras que los discos quedaban más grandes de lo normal seis días después del final de un período cama de 90 días de descanso (Holguín *et al.* 2009) y seis semanas después del final de unas 17-semanas de descanso en cama (LeBlanc *et al.* 1994).

Por su parte Martínez Gonzales señala en sus trabajos las adaptaciones de los órganos internos en el cuerpo humano.

Adaptaciones en el cerebro y el aparato vestibular.

Trastornos en el riego cerebral. Dolor de cabeza, cefaleas y jaquecas (lo padecen el 71 % de los astronautas, estudio con 17 de ellos en la universidad de Leiden, Holanda, entre 2006 y 2008 en la ISS). Alteración del sentido de la orientación que provoca náuseas y mareos; también se producen vómitos, a veces cada hora. [...] También son evitables los vértigos debido a la exposición en micro-gravedad realizando los movimientos de la cabeza muy despacio; tal dificultad es conocida como **cinetosis**.³⁷ [...] Una aceptable estabilización del sistema vestibular en micro-gravedad suele producirse a los 15 días de vuelo. Como consecuencia de la falta de peso, el polvo está siempre en suspensión y ello incrementa o genera además alergias. En vuelos de duración prolongada de más de un mes, en un grupo de estudio, se ha observado además que el 11% de los astronautas registran alteraciones en la glándula pituitaria y en su interconexión cerebral.

³⁷ La cinetosis es el trastorno debido al movimiento, bien sea por mar, aire, coche, tren o el producido por algunas atracciones cuyos principales síntomas son vómitos, náuseas y falta de equilibrio, producidos por la aceleración y desaceleración lineal y angular repetitivas. Sus causas son la estimulación excesiva del aparato vestibular por el movimiento como causa primaria

Adaptaciones en el aparato digestivo.

En un ambiente de microgravedad tragar algo es un poco más dificultoso. La función digestiva se ralentiza y se pierde un poco el apetito, en parte a la menor actividad física; hay aerogastria³⁸, aerocolia³⁹ y disminuyen las secreciones en la digestión. Los sabores cambian ligeramente; el sabor picante, por ejemplo, es más apreciado. Las papilas gustativas pierden sensibilidad y los astronautas aumentan la sal para dar sabor, pero ello incide negativamente degradando los huesos según la ESA. Los reflejos en el paso faríngeo y esofágico, son normales así como la digestión. Los intestinos no comienzan a funcionar hasta 2 o 3 días de vuelo debido a gastroparesia o detención temporal del sistema gastrointestinal; hay pues estreñimiento y aumento de gases intestinales producto de una mayor fermentación. Los estudios de los efectos de la micro-gravedad pasaron al principio por guardar las heces para su análisis, y se realiza un cálculo preciso de la alimentación, análisis de sangre (unos 35 mililitros dos veces, antes y después del vuelo), e incluso la transpiración recogida de la ropa.

Adaptaciones en el apetito.

Los estudios señalan que los astronautas suelen experimentar en micro-gravedad una pérdida de peso por falta de apetito. El repetido factor de falta de la gravedad habitual parece provocar una disminución de las proteínas denominadas neuropéptidos en el hipotálamo que a su vez son controladas en su producción por la leptina. Esta última aumenta en micro-gravedad la producción de las proteínas señaladas no dando la sensación de hambre.

³⁸ Dilatación o hinchazón del estómago con gases o aire

³⁹ La aerocolia es la acumulación de gas en el colon. Este trastorno digestivo común agrupa varios síntomas que se traducen en una incomodidad intestinal.

Alteración en la función de los riñones.

Aumenta su capacidad de filtración en un 20%. Las concentraciones de electrolitos y minerales en la orina apuntan que la formación de piedras se vea favorecida en el riñón; se trata de concentraciones de citratos, calcio, sodio, magnesio, fosfato, potasio, sulfatos, ácido úrico y otros.

Alteración en el hígado.

El hígado funciona de forma diferente, siendo menos eficaz, por lo que los medicamentos son metabolizados con cadencia distinta a la habitual en la tierra. Por otra parte, las alteraciones digestivas y de asimilación afectan también tal metabolismo de este órgano. La micro-gravedad hace que todo este órgano se desplace unos 7,5 cm hacia arriba, cosa que ocurre con otros órganos.

Alteraciones en endocrinología y metabolismo.

Dentro de la actividad metabólica, hay un incremento de la actividad de las glándulas cortico-suprarrenal, hipófisis y en cierta medida de las genitales y tiroides.

Sistema inmunológico.

Temporalmente los linfocitos se alteran y se reduce su actividad ligeramente; la producción de anticuerpos baja de forma notoria. Como factores externos hay que considerar que hay disminución de la flora bacteriana anaerobia y aumenta la aerobia (la que necesita oxígeno). Los glóbulos rojos, o hematíes, disminuyeron un 14 % en los vuelos Skylab (en exactitud, entre el 6 y el 20 %) como resultado de su menor producción por la médula ósea. El número de glóbulos blancos neutrófilos (uno de los 5 tipos de tales glóbulos), por el contrario, aumenta en un 85% tras vuelos en torno a una semana de duración (estudio sobre 25 astronautas en la ISS).

En general, el sistema se debilita y hay posibilidad de aumento de infecciones; además en micro-gravedad los virus sobreviven muy bien.

Alteraciones del sueño.

Es, por lo general, más difícil de conciliar, si bien los ciclos de unas 8 horas diarias se mantienen en los programas; sin embargo, en general se duerme entre 2,5 y ½ h menos que en la Tierra. A la vez, en el período de “día” o laboral puede aparecer somnolencia por lo que puede ser recomendable una siesta. Los ruidos de ventiladores y otros aparatos necesarios para el mantenimiento de los sistemas no ayudan a conciliar el sueño. El lugar elegido para dormir ha de estar en la línea de acción de algún ventilador pues de lo contrario, en la microgravedad, el CO₂ expulsado por el propio astronauta podría acumularse en torno a la cabeza del mismo y producir dolor de cabeza. Por lo demás, la persona ha de sujetarse con correas para no flotar sin control al dormir y se suelen poner un antifaz negro para evitar la luz.

Adaptaciones psicológicas, sociales y neuro-comportamentales.

Los cambios en la conducta humana desarrollados en un entorno tan extremo como la micro-gravedad son varios. Los mismos han sido estudiados por varios investigadores y a continuación se describen las adaptaciones más relevantes.

Adaptaciones conductuales y estrategias adoptadas según la FECYT:

En el ámbito emocional, los astronautas se enfrentan a una serie de cambios que van desde la euforia hasta la irritabilidad, el aburrimiento, la depresión y la fatiga. Los astronautas tienen que soportar el aislamiento y confinamiento del medio espacial. Los métodos que la tripulación usa para combatir el estrés y los cambios que se

producen en viajes largos son críticos para el éxito de la misión. Así, con el fin de procurarles mayor estabilidad emocional, los médicos espaciales les programan actividades de esparcimiento variadas -ejercicios físicos, cursos, ensayos de maniobras, lectura, tareas de investigación, etc.- que combinan con su rutina de trabajo diario. Además, para identificar los riesgos psicosociales y neuro-comportamentales de la salud, seguridad y productividad de la tripulación, entre los objetivos del equipo se incluyen el desarrollo de métodos para monitorizar las funciones cerebrales y el comportamiento, y contramedidas para mejorar el rendimiento, la motivación y la calidad de vida. La composición de la tripulación, el estilo de dirección, la organización y la comunicación se investigan para optimizar la efectividad de la tripulación y el éxito de la misión.

Para Martínez Gonzales (s.f) ocurre lo siguiente:

El cerebro humano tiene en sí mismo un modelo de gravedad, bajo la que evolucionó, que condiciona todo su quehacer y le permite la precisión en la dinámica fisiológica. Al faltar esta condición de gravedad, de peso, así como de la cercanía de la “cuna” terrestre, el hombre se sumergió en el espacio al principio, en los años 60, en lo desconocido.

El último factor se resume principalmente en el aislamiento, la soledad, la rutina, la monotonía, y también los problemas de convivencia en las circunstancias del vuelo (como la falta de espacio durante meses) entre cosmonautas, y a medida que el vuelo se hace cada vez más largo tanto más inciden los mismos. Otra influencia añadida, de origen físico, es la diferencia respecto a la superficie terrestre de los campos magnéticos, superior en el espacio, y eléctrico, menor en el cosmos; esto ayuda en las alteraciones psíquicas intensificando las tendencias (irritabilidad,

aislamiento, etc.). Incluso en algún caso (en 1979, los dos soviéticos de Soyuz 32) se ponen a llorar sin motivo aparente...

El mismo investigador detalla los cambios específicos producidos en la psicología humana como producto de la exposición en micro-gravedad.

Desorientación temporal. Falta de comodidad (por ejemplo, una ducha o baño). [...]. Menor capacidad de trabajo y de reflexión. Ocasionalmente, palidez, sudor frío y cara desencajada. Astenia⁴⁰. Apatía. Pérdida de la sensación de brazos y piernas. Diversas disfunciones del sistema nervioso, así como miedos y fobias (ocasionalmente no ocultados), ansiedad, depresión, nerviosismo, irritabilidad y hostilidad. Todo ello, generalmente de carácter temporal y esporádico sobre un pequeño porcentaje de astronautas, pero que excepcionalmente puede a su vez producir efectos fisiológicos, tal como taquicardias, etc.

Descriptas las adaptaciones fisiológicas del cuerpo humano en micro-gravedad veremos a continuación cuales son las ciencias que estudian estos cambios adaptativos y su evolución a lo largo de la historia.

Medicina aeroespacial y fisiología gravitacional

Un ambiente de micro-gravedad como el que se encuentra en el espacio exterior presenta características medio-ambientales las cuales van a producir adaptaciones en el cuerpo humano si la estancia de este se prolonga en el tiempo.

⁴⁰ Es un síntoma presente en varios trastornos, caracterizado por una sensación generalizada de cansancio, fatiga, debilidad física y psíquica

Las adaptaciones anatómicas y fisiológicas que sufren los astronautas en condiciones de micro-gravedad representan una amenaza para la salud de los mismos. Así forma las distintas ciencias y disciplinas investigan estos cambios para entender cómo reacciona el cuerpo humano ante la ausencia de gravedad y para crear contramedidas efectivas que aseguren la permanencia del hombre en el espacio. Estas ciencias son la Medicina espacial o aeroespacial y la fisiología gravitacional.

Medicina aeroespacial.

Martínez Gonzales Eduardo en su tratado de Medicina astronáutica, capítulo 10 subcapítulo 23 define así a la medicina espacial:

La medicina espacial se define como la rama de la medicina que trata los efectos del vuelo espacial sobre el cuerpo humano y la prevención y cura de las disfunciones fisiológicas y psíquicas producidas por los mismos, ampliando las perspectivas de los vuelos y especialmente los de sucesiva mayor duración.(¶1)

Según Susana Chavarría Gonzales: “Se debe entender como medicina aeroespacial a la rama médica que estudia los efectos fisiológicos y psicológicos que se observan cuando el cuerpo se expone a ambientes de micro-gravedad. (Revista de Tecnociencia, 2003)”.

La FECYT define a la medicina espacial de la siguiente manera:

La Medicina Aeroespacial es la disciplina médica que estudia los efectos fisiológicos y psicológicos que tienen lugar en el ser humano cuando se somete al medio aeronáutico y espacial. Esta rama de la medicina estudia las adaptaciones del hombre a este medio, las repercusiones de ese entorno sobre el organismo tanto

sano como enfermo, e incluso los efectos que los diferentes fármacos pueden tener sobre el organismo sometido a las especiales condiciones del medio espacial. (¶1)

Siguiendo con la definición de Medicina espacial propuesta por Martínez Gonzales el mismo profundiza algunos aspectos de la misma:

[...] la medicina espacial nace de los conocimientos impuestos al hombre por su propia característica de habitante de la biosfera del planeta cuando sale de ella. Abandonar la biosfera supone: primero, que ha de llevar su propia “biosfera” para sobrevivir; esto es, una atmosfera, la alimentación y otras necesidades fisiológicas. Segundo, que la gravedad no la puede llevar y eso determina una adaptación a su ausencia o una prevención contra los efectos negativos de la falta de la misma. Inherente a la propia condición del vuelo espacial se añade además el factor de aceleraciones superiores a la propia de la superficie del planeta, y las radiaciones, más fuertes e intensas en el espacio, y los meteoritos, si bien las mismas y estos se puede contrarrestar en cierta medida con el blindaje de las cabinas. La psicología y el trabajo en equipo juegan aquí un papel importante. Tras el vuelo espacial, la readaptación al medio terrestre también plantea otros problemas. Todo ello lleva a una medicina preventiva que comienza con la adecuada selección de las personas que van al espacio. Además, la medicina espacial permite crear nuevos aparatos médicos, como la transmisión telemétrica de datos (telemedicina), la miniaturización, sensores integrados en sistemas de control, etc. Al principio, los sensores utilizados al contacto con la piel fueron de cloruro de plata y cada astronauta llevaba por lo menos cuatro para los datos sobre latidos y respiración. (¶2)

El aspecto médico es pues la primera condición a superar por el aspirante a astronauta. Es lógico que un mínimo en los parámetros físicos sea, en los exámenes físicos, el primer escalón en el acceso al espacio. Pero en la natural evolución de las naves y dificultades del vuelo, con tendencia a suavizar los requisitos, ha ido permitiendo a las personas acceder al espacio en condiciones cada vez menos rigurosas. Al principio, sobre el papel los aspirantes habían de ser poco menos que perfectos física y psicológicamente, aunque en realidad no lo fue tanto. Incluso los criterios de selección son variables en la valoración de las distintas agencias espaciales, que al principio son solo la rusa y la americana. Más modernamente, la selección se centra en el destino del vuelo o el tipo de misión. Es natural que en un vuelo de larga duración se requiera una especial atención el aspecto psicológico, dada la larga rutina y el parámetro de convivencia adquiere su importancia. (¶3)

El siguiente aspecto en que se manifiesta la medicina en la navegación espacial es en la notable transformación fisiológica que sufre el cuerpo sometido a las condiciones del espacio. La capacidad de adaptación fisiológica determina las posibilidades del hombre para los vuelos tripulados. El principal factor que condiciona a la fisiología en el espacio es la micro-gravedad, o prácticamente falta de gravedad. El hombre como todas las especies del planeta es un resultado evolutivo de diversos condicionantes entre los que está la gravedad. Durante millones de años esos condicionantes han configurado una fisiología humana que, sometida casi a la falta de gravedad se ve alterada en el espacio. La medicina espacial trata de solventar los problemas que de ello se derivan y hacer posible que

el hombre se adapte al medio indicado, al menos durante un tiempo, y pueda volver luego a la tierra y pueda continuar su vida normal. (§4)

Hay pues que distinguir aspectos en la medicina espacial: criterios de selección y entrenamiento, la medicina en el vuelo y la readaptación a las condiciones terrestres. Todo ello en la vertiente psicológica como en la psíquica. En el caso de la medicina en el vuelo, además de la ejercida hay que añadir las investigaciones al respecto que pretenden comprender los mecanismos de la respuesta fisiológica y probar la mejor solución. (§5)

Se considera como el padre de la medicina espacial al alemán Hubertus Strughold, que fue director de investigaciones aeromédicas de la fuerza aérea alemana y más tarde , en 1948, del correspondiente departamento en los estados unidos, con destino en la base Randolph, en Texas. Realizó los primeros estudios extensivos sobre aceleraciones y desaceleraciones, vibraciones, etc., y publicó numerosos artículos y trabajos sobre medicina espacial y temas afines. En parte, sobre todo en lo referente a las aceleraciones, el problema ya había sido estudiado por la aeronáutica, experiencia que fue aprovechada pues en el campo espacial. Un premio de la Asociación Médica Espacial lleva su nombre. (§6)

Fisiología gravitacional.

Susana Chavarría Gonzales define así esta ciencia:

[...] la fisiología gravitacional es la ciencia que estudia los cambios orgánicos que suceden cuando se permanece en un ambiente con mayor o menor fuerza gravitacional que la de la Tierra. Estudia 3 áreas fundamentales: la salud de los

sujetos en el espacio, la investigación biomédica y la elaboración de modelos.

(Catalayud, 2004).

Catalayud Miquel Jaime en “*Estudios de la NASA sobre los efectos biomédicos del vuelo espacial*” define de la siguiente manera a la fisiología gravitacional:

La denominación *gravitational physiology* fue aceptada en una reunión del Comité on Space Research, en 1971, porque "se estaba demostrando que el estudio de los efectos del medio ambiente espacial sobre los organismos de la Tierra era factible y válido científicamente, como una rama de la fisiología ambiental". Concretamente, "la fisiología gravitacional investiga las reacciones de los organismos a todo el rango de fuerzas gravitacionales de mayor o menor intensidad que la fuerza que ejerce la gravedad sobre todos los objetos que permanecen inmóviles en la superficie de la Tierra". Además, se puede considerar la fisiología gravitacional desde el punto de vista de tres áreas de estudio interconectadas: **a)** Relación con la salud y supervivencia de los sujetos humanos en el espacio. **b)** Utilización de micro-gravedad en los vuelos espaciales como un medio para investigar aspectos fundamentales de biología y medicina. **c)** Modelos experimentales para poder observar en la Tierra reacciones de los organismos semejantes a las que causan fuerzas gravitacionales mayores o menores que la gravedad terráquea. (¶6)

Además señala aspectos históricos en la evolución de su estudio:

[...]el programa de investigación de la Experimental Pathology Branch de la NASA en colaboración con la Universidad de California en Berkeley, proporcionó numerosos datos (obtenidos en animales de laboratorio irradiados en aceleradores

de partículas) que sugerían que la radiación cósmica no haría peligrar la salud de los astronautas excepto en misiones espaciales de varios años de duración. Por ello el interés de nuestros estudios se concentró en la reacción de los organismos a la otra importante alteración medio-ambiental a la que se exponen los viajeros espaciales, o sea la micro-gravedad. Afortunadamente, pronto se demostró en los programas de investigación espacial soviético y americano que tanto los animales de laboratorio como los cosmonautas y astronautas podían adaptarse a la micro-gravedad a la que estaban expuestos en vuelos balísticos y orbitales. Misiones posteriores de mucha mayor duración, como la Skylab americana y vuelos en los vehículos soviéticos como el Soyuz y la estación espacial Salyut demostraron que los viaje espaciales podían completarse con éxito por los sujetos humanos pero que la micro-gravedad desencadenaba un gran número de respuestas fisiológicas de adaptación al medio e incluso algunos procesos fisiopatológicos que, por su amenaza para la salud y rendimiento, podrían imponer límites al tiempo de permanencia de las tripulaciones en el espacio. (¶1)

Merece mención que los resultados de los programas espaciales soviético y americano parecían confirmar las hipótesis enunciadas por el precursor de las ciencias del espacio Konstantin E. Tsiolkovsky. En efecto, a finales del siglo XIX, este matemático ruso ya propuso la utilización de cohetes para propulsar vehículos espaciales tripulados y predijo los más importantes efectos en micro-gravedad: "No tendremos peso, solo masa. Podremos tener en nuestras manos cualquier masa sin sentir ningún peso. No hay arriba ni abajo. Tsiolkovsky no se limitó a especulaciones teóricas sino que fue el fundador de la fisiología gravitacional

experimental, al llevar a cabo experimentos de centrifugación de insectos y aves que mostraron que "el aumentar cinco veces su peso no tenían efectos perjudiciales sobre estos animales". Por otra parte predijo que la anatomía y fisiología de animales y plantas sí que podría alterarse como consecuencia de la exposición a un ambiente ingrávito. (§2)

Desde 1948 a 1961, las investigaciones de los EEUU en preparación de los vuelos espaciales tripulados se iniciaron con una serie de vuelos en los que ratones, ratas y monos alojados en el cono de cohetes balísticos fueron expuestos brevemente a numerosos estreses que incluían la micro-gravedad. Por otra parte, de 1951 a 1960 la Unión Soviética utilizó en su programa de fisiología espacial perros entre los que se destaca "Layka", que en el vuelo del Sputnik-2 (de 1957) fue el primer "viajero" que orbitó la Tierra en un satélite artificial. Poco después, el vuelo de Yuri Gagarin en Vostok I dio un gran impulso al desarrollo de la tecnología necesaria para los vuelos tripulados así como a la investigación biomédica necesaria para aumentar la seguridad de las tripulaciones. (§ 3)

Los vuelos tripulados de la NASA, desde el programa Mercury hasta los viajes a la Luna del programa Apollo, y especialmente las misiones del laboratorio espacial Skylab, proporcionaron mucha información sobre las reacciones de los sujetos humanos a la ingravidez. Sin embargo, en comparación con el programa soviético, en los primeros vuelos de la NASA hubo una relativa falta de interés en el desarrollo de la biología espacial, pues en pocas ocasiones animales de experimentación fueron enviados al espacio con los astronautas en los vehículos americanos. Los primeros estudios de biología espacial de la NASA, en los años

sesenta, se realizaron exponiendo cultivos celulares e insectos a la micro-gravedad en biosatélites automáticos, y en las décadas de los setenta y los ochenta, se obtuvieron numerosos datos en un programa conjunto URSS/USA que utilizaba como vehículos espaciales biosatélites como el Cosmos. Gracias a este programa, en el que la Experimental Pathology Branch de la NASA dirigió dos experimentos para investigar los efectos de la ingravidez sobre el desarrollo y el envejecimiento del insecto *Drosophila melanogaster*, fue posible exponer una variedad de organismos a los estreses del vuelo espacial durante períodos de hasta 20 días. Los resultados de estas investigaciones demostraron que algunos procesos biológicos fundamentales son más insensibles a la ingravidez de lo que se esperaba, mientras que otros, como el envejecimiento, son muy sensibles a cambios en la intensidad de las fuerzas gravitacionales. (¶4)

Numerosas investigaciones de la NASA utilizaron los modelos de bed-rest y de inmersión en agua (para sujetos humanos), y de suspensión del cuerpo e inmovilización (para animales de laboratorio), pues a causa de la hipokinesia e hipodinamia que las acompañan tienen algunos efectos semejantes a los de la microgravedad en vuelo espacial. Por otra parte, la rotación horizontal en ciclocanastatos (un modelo de los expertos en fisiología vegetal para estudiar la influencia de la gravedad sobre las plantas) también mostró su utilidad en experimentos realizados en nuestro laboratorio en preparación de los mencionados vuelos en biosatélites espaciales para investigar los efectos de la micro-gravedad sobre el desarrollo y el envejecimiento de los insectos. (¶7)

El primer estudio americano de larga duración sobre los efectos de la hipergravedad (conseguida mediante rotación en grandes centrifugadoras) se realizó en 1953. Esta investigación, en la cual se mantuvo a ratas en campos de 3g y 8g de fuerza centrífuga en períodos de hasta un año, fue continuada por otros estudios, incluido uno de nuestro laboratorio, que demostraron que, de acuerdo con la teoría gerontológico del rate-of-living⁴¹, la exposición prolongada de ratas a 3.5g aumentaba su consumo de alimento y aceleraba su envejecimiento. (§8)

El uso de clinostatos y centrífugas gigantes en el Ames Research Center de la NASA, en California, ha sido muy útil para el desarrollo de la fisiología espacial, y más concretamente para ayudar en el proceso de selección de los proyectos que, por sus expectativas de rendimiento científico, merecen llevarse a cabo en biosatélites o vehículos espaciales tripulados. (§ 9)

Reseña histórica de la fisiología gravitacional.

Continuando con la reseña histórica de cómo se va formando esta rama tan particular de la Fisiología citamos a West Jhon B. (2000), doctor y fisiólogo, el cual describe los siguientes aspectos que hicieron y le dieron forma a la fisiología gravitacional:

Los estudios de fisiología en la micro-gravedad son muy recientes, con casi todos los datos que se obtuvieron en los últimos 40 años. El primer vuelo espacial tripulado no tuvo lugar hasta 1961. Mediciones fisiológicas en relación con los primeros vuelos eran toscas, pero, en los últimos 10 años, una enorme cantidad de

⁴¹ Nombre con el que se conoce la teoría que postula que mientras más rápido sea el metabolismo de un organismo más corta es su vida útil. Creada por Max Rubner describe la relación entre la tasa metabólica, el tamaño corporal y la longevidad

nueva información se ha obtenido a partir de experimentos. Los Estados Unidos y los programas soviéticos / rusos han seguido caminos diferentes. Los EE.UU. se han centrado principalmente en los vuelos relativamente cortos, pero con equipos altamente sofisticados, como se dispone en el Spacelab. Por el contrario, el programa soviético / ruso se concentró en la primera Salyut y las estaciones espaciales Mir. Estos tenían la ventaja de proporcionar información acerca de la exposición prolongada a la micro-gravedad, pero el grado de sofisticación de las mediciones en el espacio era menor. Los cambios fisiológicos más importantes causados por la micro-gravedad incluyen la desmineralización ósea, atrofia muscular, problemas vestibulares que causan el mal de movimiento del espacio, problemas cardiovasculares derivadas de la intolerancia ortostática después del vuelo, y las reducciones en el volumen plasmático y la masa de glóbulos rojos. La función pulmonar se ve muy alterada, pero al parecer no peligr seriamente. La exploración espacial es una nueva frontera en misiones de larga duración a la Luna y Marte. La comprensión de los cambios fisiológicos causados por la micro-gravedad de larga duración sigue siendo un desafío de enormes proporciones.

Este mismo investigador señala como los distintos vuelos espaciales generaron un gran impacto en el área de la fisiología gravitacional. Cada uno de ellos desde el programa Vostok hasta el programa Spacelab influyo en gran manera en esta ciencia. Veamos en detalle cada vuelo espacial y su relación con esta rama de la fisiología:

Programa Vostok Soviética.

Como se ha indicado anteriormente, fue el primer vuelo espacial tripulado por Yuri Alekseyevich Gagarin (1934-1968) a bordo del Vostok-1 el 12 de abril de 1961. El

vuelo duró 1 hora y 48 minutos, durante el cual se completó una órbita terrestre. Las variables fisiológicas que fueron monitoreadas incluyen movimientos de electrocardiograma (ECG) y del pecho por neumografía; una cámara de televisión también registra las actividades del cosmonauta. Gagarin se mantuvo bien y fue expulsado de la nave a una altitud de 7.000 m, el aterrizaje fue en paracaídas.

(¶6)

Aproximadamente 4 meses después, Gherman Titov voló en Vostok-2 durante más de 1 día, durante el cual hizo 17 órbitas de la tierra. Él desarrolló lo que más tarde se conoció como el mareo espacial (o síndrome de adaptación espacial), y también se convirtió en la primera persona a dormir en el espacio. Vuelos posteriores de la serie Vostok incorporan monitorización fisiológica más sofisticada, incluyendo electrooculograma, electroencefalograma, resistencia galvánica de la piel, y las evaluaciones neuropsicológicas. La intolerancia ortostática post-vuelo, es decir, la dificultad para mantener la postura de pie a su regreso a la Tierra, se observó en algunos cosmonautas. La primera mujer en el espacio, Valentina Vladimirovna Tereshkova (1937), voló en la nave Vostok-6 en junio de 1963. (¶7)

EE.UU. Proyecto Mercury.

En el primer programa espacial tripulado de Estados Unidos, Alan Bartlett Shepard, Jr. (1923-1998) realizó un vuelo suborbital de 15 minutos el 5 de mayo de 1961; y John Herschel Glenn (1921 -) lleva a cabo el primer vuelo orbital el 20 de febrero, 1962. En total, dos misiones orbitales y cuatro suborbitales se llevaron a cabo durante el Proyecto Mercury, y los seis astronautas regresaron a la Tierra de forma

segura. Los principales resultados fueron la pérdida de peso, la deshidratación y la intolerancia ortostática después del vuelo. (¶8)

Programa Voskhod Soviética.

Voskhod-1, que fue lanzado en octubre de 1964, fue la primera nave espacial con más de un miembro de la tripulación y, de hecho, estaba formado por tres, incluyendo el primer médico en el espacio, el Dr. Boris Borisovich Yegorov (1937-1994). Llevó a cabo varios experimentos médicos, incluyendo pruebas de la función pulmonar y vestibular, y él también tomó las primeras muestras de sangre en el espacio. En la misión Voskhod-2, Aleksey Leonov Arkhipovich (1934-) se convirtió en la primera persona para realizar la actividad extra-vehicular (EVA). (¶9)

Programa Géminis EE.UU.

El primer vuelo de esta nave espacial de dos personas tuvo lugar en marzo de 1965. Con todo, las 10 misiones Géminis llevaron a cabo una serie de objetivos necesarios para un aterrizaje lunar. Estos incluyen la prueba de la viabilidad de un vuelo espacial que duró casi 14 días y la demostración de la capacidad de encuentro y muelle con otra nave espacial. La primera EVA en el programa de EE.UU. se llevó a cabo durante el Géminis-4, aunque hubo problemas con el sobrecalentamiento del traje espacial. Los hallazgos fisiológicos en el programa Géminis incluyen la pérdida de densidad ósea en el calcáneo, la pérdida de calcio de los huesos y nitrógeno muscular, reducción en la capacidad de ejercicio después del vuelo, pérdida de masa de glóbulos rojos, un inesperado y elevado coste metabólico

en las EVA, y la intolerancia ortostática después del vuelo en todos los miembros de la tripulación. (§10)

Programa Soyuz soviético.

Este programa al parecer fue planeado originalmente como preparación para un alunizaje humano. La nave espacial lleva tres miembros de la tripulación y tenía una sofisticada maniobra orbital, de encuentro, y las capacidades de conexión. Además de las pruebas de maniobra y la soldadura en el espacio, las investigaciones fisiológicas continuaron en las respuestas cardiovasculares y musculoesqueléticas. Había varias pruebas del valor del ejercicio físico en el espacio para reducir la pérdida de acondicionamiento cardiovascular. Desafortunadamente, cuatro cosmonautas perdieron sus vidas, uno cuando un paracaídas no se desplegó con éxito durante la reentrada y otros tres cuando accidentalmente una válvula quedó abierta y los miembros de la tripulación murieron como resultado de la repentina despresurización. (§ 11)

EE.UU. Proyecto Apolo.

Como cualquier escolar sabe, este ambicioso programa de aterrizar un hombre en la Luna y regresar a salvo a la Tierra fue un éxito rotundo. Sin embargo, hubo una tragedia al principio, cuando tres astronautas murieron en un incendio en la plataforma de lanzamiento durante un ensayo. Como resultado de ello, la atmósfera de la nave espacial durante el lanzamiento se cambió de oxígeno puro a 60% de oxígeno y 40% de nitrógeno, y el nitrógeno se reemplazó gradualmente por el oxígeno después de su lanzamiento, así la presión de la cabina se redujo. Durante la totalidad de la serie Mercury, Géminis, y Apolo, los miembros de la tripulación respiraban oxígeno puro a una presión de 5 psi, dando una presión de oxígeno en la

cabina de ~ 260 Torr. Esto fue en contraste con el programa soviético en el que, desde el principio, los cosmonautas respiraban 21% de oxígeno a 760 Torr. (§12)

Los cambios fisiológicos observados durante los vuelos del Apolo confirmaron los anteriores de los programas Mercury y Géminis y se incluyen la reducción de la tolerancia al ejercicio después del vuelo, disminución de la masa de glóbulos rojos y el volumen plasmático, deshidratación y pérdida de peso, trastornos vestibulares, y la intolerancia ortostática después del vuelo. Es interesante que los síntomas de la cinetosis del espacio no fueran reportados por los astronautas de EE.UU. antes de los vuelos Apolo, mientras que se les había señalado ya en el segundo vuelo tripulado soviético, Vostok-2. Sin embargo, en el Apollo 8 y 9, cinco de los seis miembros de la tripulación sufrieron del mareo espacial y en un caso, el plan de vuelo tuvo que ser modificado. Otra característica de los vuelos Apolo era que uno de los astronautas había desarrollado arritmias cardíacas (en el Apolo 15). (§13)

Programa Salyut soviético.

Salyut I, que fue lanzado en abril de 1971, se convirtió en la primera estación espacial del mundo. Fue lanzado en un cohete Protón, y una tripulación de tres cosmonautas fue entregada a la estación utilizando el Soyuz 10. Este fue el comienzo del énfasis soviético (y más tarde, Rusia) sobre la exposición espacial tripulada de largo duración. De hecho, los caminos de la investigación espacial tripulada de Estados Unidos y la Unión Soviética se separaron en este punto, la única excepción de Skylab, que se describe a continuación. El programa soviético se concentró en las misiones espaciales a largo plazo con cantidades relativamente pequeñas de la experimentación realizada durante la propia misión, en parte debido

a las limitaciones de espacio y de los recursos de la Salyut y la estación espacial que siguió, Mir. Por el contrario, el programa de EE.UU. desarrolló el transbordador espacial, que permite experimentos altamente sofisticados en la fisiología humana que se llevarán a cabo en el programa Spacelab, pero la duración de la exposición se limita a 2-3 semanas. En cierto sentido, los dos programas son tanto complementarios. Tenga en cuenta que, aunque los soviéticos estaban limitados en la cantidad de datos que se puede obtener a bordo de la estación espacial, hicieron numerosas mediciones antes y después de la exposición prolongada a la microgravedad. (¶14)

Notablemente algunos vuelos larga duración se hicieron en las diferentes misiones Salyut. Por ejemplo, el cosmonauta VV Ryumin pasó períodos de 175 y 185 días en el espacio, separados por apenas 6 meses, por lo tanto, se registra casi un año en órbita. Posteriormente, en la estación espacial Mir, VG Titov y M. Kh. Manarov completaron vuelos que durarían 1 año. El Dr. Valeriy Polyakov, un médico, realizó muchos estudios médicos durante su vuelo de 8 meses en 1988 y 1989. Polyakov posteriormente pasó 438 días de forma continua en el espacio a bordo de la estación espacial Mir. (¶15)

Con la prórroga de las misiones Salyut, se hizo mayor hincapié en la vigilancia de la salud de la tripulación. Los exámenes médicos extensivos se realizaron semanalmente, y éstos incluyen evaluaciones cardiovasculares en un ECG, respiración por neumógrafo, la presión arterial por el método oscilo-métrico y la hemodinámica central y periférico de los estudios de impedancia⁴². Las

⁴² La impedancia es la medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión.

mediciones se realizaron en reposo, durante el ejercicio en un ergómetro, y el uso de presión negativa inferior del cuerpo (PNIC)⁴³, que simula en cierta medida la gravedad y produce la acumulación de sangre en la parte inferior del cuerpo como sería de regreso al ambiente normal de 1-G. Se hizo un amplio uso de "contramedidas" para intentar reducir el deterioro que se produce en los vuelos espaciales. El ejercicio regular se llevó a cabo utilizando tanto una caminadora y una bicicleta fija, y los cosmonautas llevaban los llamados "trajes de pingüinos"⁴⁴ durante las horas de trabajo. Estos están hechos de material elástico y están diseñados para resaltar la musculatura esquelética para contrarrestar los efectos de la ingravidez. (¶16)

Programa Skylab EE.UU.

Esta fue la única estación espacial de los EE.UU. y ha permitido la exposición de los tres astronautas durante tanto tiempo como 84 días. Fue construido ingeniosamente, con la tercera etapa pasó del cohete Saturno V, y, con su volumen de ~ 294 m³, que proporciona espacio para laboratorios y viviendas que eran de mayores magnitudes que los del Mercurio, Géminis y la nave espacial Apollo. Los miembros de la tripulación del Skylab 4 se pusieron en marcha en noviembre de 1973, y la duración de 84 días para los tres miembros de la tripulación eclipsó cualquier registro de duración anterior. Esta combinación de un largo período en órbita, la gran cantidad de espacio disponible, el equipo fisiológico relativamente sofisticado, y la libertad de los objetivos operacionales dio oportunidades sin

⁴³ Traje utilizado para normalizar la redistribución del flujo sanguíneo en el espacio. También conocido como Lower Body Negative Pressure (LBNP).

⁴⁴ Trajes utilizados por los astronautas para mantener normalizada la presión de los fluidos en el cuerpo humano. Conocidos como penguin suit.

precedentes para las mediciones fisiológicas en condiciones de microgravedad. Entre los proyectos que se llevaron a cabo fueron los estudios de la pérdida mineral ósea y el equilibrio mineral. La pérdida de hueso se observó en el calcáneo a una velocidad que era similar a la encontrada en los estudios de reposo en cama. Es importante destacar que, la pérdida de calcio de los huesos que parecía ser implacable a pesar del uso vigoroso de las contramedidas tales como el ejercicio. Además de calcio, también se perdieron nitrógeno y fósforo de forma significativa, presumiblemente como resultado de la atrofia muscular. También hubo una reducción en el volumen de la pierna, parte de lo que podría ser atribuido a la atrofia muscular y otra parte a la pérdida de fluido. Extensos estudios de sangre se realizaron para determinar la causa de la pérdida de masa de glóbulos rojos. El desacondicionamiento cardíaco también se controlará mediante LBNP. (§ 17)

Skylab demostró la viabilidad de las mediciones de laboratorio relativamente sofisticados en el espacio. Sin embargo, fue decepcionante que se reportaran pocos estudios en revistas revisadas por pares. En cambio, el cuerpo principal de los resultados fue escrito en una publicación de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). Esta desafortunada decisión ayudó a alimentar la suspicacia por la comunidad científica en general ya que que los estudios financiados por la NASA de la fisiología humana en el espacio carecen del rigor científico en comparación con otros estudios. Esta percepción existe en algunos sectores hasta la actualidad. (§ 18)

Programa Mir Soviética.

Con el lanzamiento de la estación espacial Mir en febrero de 1986, la primera estación espacial del mundo habitada permanentemente se convirtió en una

realidad. Una de las características del diseño Mir fue sus múltiples puertos de conexión, lo que permitió un enfoque evolutivo mediante el cual la estación podría ampliarse progresivamente. El hardware original, que se deriva de las primeras estaciones como Salyut, tenía un compartimiento en la parte delantera con cinco puertos de conexión y otro puerto de acoplamiento en la parte trasera. Varios módulos se han añadido, y éstos han permitido la instalación de equipamiento científico sofisticado para estudios fisiológicos, incluyendo una nevera, ecocardiografía, analizador de sangre capilar, y un gran tapiz rodante. (§19)

Una característica del programa Mir ha sido el gran número de tripulantes extranjeros que han pasado algún tiempo en la estación espacial. Además, el transbordador espacial de EE.UU. ha atracado con Mir en varias ocasiones. Por desgracia, se produjo un accidente en junio de 1997, durante el intento de acoplamiento de un vehículo de suministro, y uno de los módulos se despresurizó. (§20)

Programa Spacelab EE.UU.

Este ambicioso programa ha permitido la investigación de alto nivel que se lleva a cabo en un ambiente de laboratorio muy sofisticado. Para fines fisiológicos, Spacelab se refiere a un módulo de laboratorio a presión de alrededor de 7 m de longitud y 4 m de diámetro, la atmósfera de la que es 21% de oxígeno (resto nitrógeno) a presión a nivel del mar de 760 Torr. Ambos lados del módulo están cubiertos por bastidores de instrumentos estándar que se suministran con la energía eléctrica, refrigeración y vacío. Así Spacelab proporciona un entorno de investigación [...], similar a la de un laboratorio terrestre. El primer Spacelab fue

lanzado en noviembre de 1983 y fue en parte una misión de prueba, pero una serie de experimentos se llevaron a cabo con éxito. Cabe destacar que el Spacelab también fue diseñado para apoyar la investigación en otras disciplinas, como la astronomía, la física solar, física del plasma espacial, la física atmosférica, observaciones de la Tierra, y la ciencia de los materiales. Muchos de estos experimentos utilizan una variedad de paletas o bancos de prueba de laboratorio que se encuentran en la bahía de la lanzadera detrás del módulo de laboratorio. (¶21)

El programa Spacelab fue interrumpido por la explosión del transbordador espacial Challenger poco después del despegue en enero de 1986, que costó la vida de los siete miembros de la tripulación a bordo. Se creó el programa Spacelab de vuelta alrededor de 4 años. Sin embargo, en junio de 1991, el primer laboratorio espacial dedicado a las ciencias de la vida fue ciencias de la vida Spacelab-1 (SLS-1), que voló y la misión fue muy productiva desde el punto de vista de la investigación. En total, 11 misiones Spacelab con mayor y menor énfasis en la fisiología fueron trasladadas en un período de 15 años, y un gran número de áreas estaban cubiertas. La última Spacelab, conocida como Neurolab debido a su énfasis en la neurociencia, voló en abril de 1998, y fue una de las más productivas desde el punto de vista científico. (¶22)

Una característica del programa científico Spacelab ha sido la estrecha participación de la comunidad académica de la universidad. El resultado ha sido un gran número de publicaciones revisadas por pares en algunas de las revistas científicas más importantes. Esto está en contraste con los estudios llevados a cabo

en el Skylab, que, como se ha señalado anteriormente, fueron publicados principalmente en un informe de la NASA. (¶23)

Es triste contar que el programa Spacelab ha llegado a su fin, y muchos vuelos de los transbordadores están siendo utilizados para la construcción de la Estación Espacial Internacional. Entre paréntesis, parece difícil justificar el abandono del programa Spacelab en esta etapa, cuando ha sido tan enormemente productivo y tantos espacios importantes en cuestiones de ciencias de la vida siguen sin respuesta. Es cierto que el programa Spacelab es caro, pero también lo es toda la investigación de la ciencia espacial, particularmente en humanos. Los científicos interesados en los problemas científicos del humano en el espacio ven ahora un paréntesis de varios años antes de que incluso las medidas más elementales se puedan realizar a bordo de la Estación Espacial Internacional. Además, es difícil imaginar que la estación tendrá siempre las sofisticadas instalaciones de Spacelab, al menos en nuestra vida. Aunque se argumenta que la gran ventaja de la Estación Espacial Internacional es que los experimentos pueden llevarse a cabo durante un largo tiempo de exposición a la microgravedad, no está claro por qué los dos programas no se pueden ejecutar en conjunto, por lo menos hasta que la Estación Espacial Internacional este en funcionamiento. Ciertamente, el abandono del programa Spacelab altamente productivo ha llevado a muchos a cuestionar la medida en que la investigación financiada por la NASA es impulsada por intereses relacionados con la ciencia frente a los de la comunidad de ingeniería. (¶24)

La Estación Espacial Internacional no se encuentra con frecuencia en reseñas históricas dado que su construcción comenzó hace no muchos años. West John escribió esto en el año 2000 acerca de esta estación espacial:

Estación espacial internacional.

Se trata de un ambicioso proyecto con los componentes de los Estados Unidos, Rusia, Europa, Japón, Canadá y otros países. Desde el punto de vista de la fisiología en microgravedad, ofrecerá una oportunidad única para el estudio de los efectos a largo plazo de la ingravidez. Sin embargo, el programa es muy caro, y ha estado plagado de retrasos. [...]. Como se ha indicado anteriormente, es probable que pasen muchos años antes de que la Estación Espacial Internacional permitirá que el grado de sofisticación de la investigación que se llevó a cabo en el Spacelab. Sin embargo, es claramente indispensable contar con estudios a largo plazo de la fisiología en la microgravedad si la exploración espacial más va a tener lugar. Por ejemplo, una misión a Marte tendrá del orden de 1.000 días, que es cerca de tres veces más tiempo que nadie ha estado en el espacio hasta ahora. (¶25)

La importancia del ejercicio en el espacio

El ejercicio físico es utilizado y aplicado por las distintas agencias espaciales. Representa la contramedida más utilizada y efectiva para contrarrestar los efectos de la permanencia prolongada en micro-gravedad. Veamos qué es lo que dicen los distintos autores e instituciones acerca del tema.

En el artículo “the history of exercise in human spaceflight” la (NASA) destaca el papel de la actividad física en los vuelos espaciales:

La importancia del ejercicio para mantener la salud y la aptitud física de los astronautas fue reconocida tempranamente en la historia de los vuelos espaciales tripulados. El ejercicio se ha convertido en una tradición en el cuerpo de astronautas y como contramedida para las misiones espaciales de larga duración, el mismo ha sido objeto de numerosos estudios y experimentación. (¶ 1)

Continuando con la NASA encontramos en otra de sus publicaciones⁴⁵ el papel que le asignan a la actividad física dentro de los vuelos espaciales:

El ejercicio es la prioridad número uno de la salud en el espacio, dice Hagan, director de fisiología del ejercicio del Centro espacial Johnson. "Ninguna otra actividad, excepto comer y dormir, se le da tanta prioridad. Por cada día se dedican dos horas y media al trabajo sobre la aptitud física." (¶ 1)

¿Por qué es tan importante para los astronautas hacer ejercicio mientras están en el espacio? Si los astronautas no ejercitan, sus cuerpos comienzan a perder hueso y músculo. La pérdida de masa muscular y masa ósea significa una disminución del tamaño y la fuerza del músculo, y pueden reducir la capacidad de los astronautas para hacer el trabajo, ya que los hace débiles. (¶ 2)

Hagan dice, los astronautas debilitados serían menos capaces de hacer las tareas en el espacio. Además, si hay una emergencia, los astronautas tendrían que estar en buena forma para salir rápidamente del transbordador o la Estación Espacial. Una vez que aterricen en la Tierra, el debilitamiento de los músculos y los huesos haría difícil el caminar de los astronautas. (¶ 3)

⁴⁵ Nasa. (2004). *Your Body in Space: Use It or Lose*. http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/F_Your_Body_in_Space.html

Hawkey (2003) en su artículo de investigación “The importance of exercising in space” publicado por la NCBI afirma que:

Como consecuencia directa de la exposición a la micro-gravedad, los astronautas experimentan una serie de cambios fisiológicos que pueden tener consecuencias médicas serias cuando regresen a la tierra. Más inmediatas y significativas son el cambio de los fluidos corporales y la eliminación de la carga gravitacional del hueso y los músculos, lo que conduce a cambios progresivos en el sistema cardiovascular y en el musculo esquelético. Las adaptaciones cardiovasculares se dan como resultado de un aumento en la incidencia de la intolerancia ortostática (desmayos) después del vuelo, la disminución del gasto cardíaco y la disminución de la capacidad para el ejercicio. Los cambios en el sistema músculo-esquelético contribuyen significativamente a la función deteriorada experimentada en el período post-vuelo. El factor subyacente producción de estos cambios es la ausencia de gravedad, y por lo tanto las contramedidas están diseñadas principalmente para simular movimientos similares a la Tierra, tensiones, e interacciones del sistema. El ejercicio es uno de los enfoques que ha tenido un amplio uso operacional y gran aceptación tanto en los programas espaciales de Rusia y EE.UU., y ha permitido a los seres humanos a permanecer relativamente saludable en el espacio durante más de un año.

Para CM Tipton (1983) “El ejercicio tiene el potencial de ser una contramedida eficaz para las disminuciones en la densidad ósea, los volúmenes de fluido, la masa muscular, fuerza muscular, la tolerancia ortostática, desacondicionamiento cardiovascular, y actuaciones de ejercicio sub-máximo [...]”. Este informe fue publicado por la NCBI.

Para la Agencia Espacial Canadiense (CSA) es por demás importante el ejercicio físico en un entorno de micro-gravedad y expresa lo siguiente.

Hacer ejercicio en el espacio no es sólo por diversión, sino que es necesario para mantener a los astronautas sanos y funcionales. En la Tierra, la gravedad va en contra de nuestros músculos y huesos cada vez que nos movemos. Esto requiere nuestro cuerpo, mantener suficiente músculo y masa ósea para apoyar nuestro propio peso. En el ambiente de ingravidez del espacio, donde la fuerza relativa de la gravedad es menos, los astronautas pierden masa muscular y densidad ósea, ya que no tienen que soportar su propio peso. (¶1)

El ejercicio en el espacio es la forma más eficaz hasta la fecha para compensar la relativa falta de gravedad. Sin embargo, incluso con el ejercicio riguroso, los astronautas han perdido típicamente hasta 0,4-1% de su densidad ósea por mes en el espacio. Aunque los astronautas recuperan poco a poco su tejido muscular y la mayor parte de su masa ósea cuando regresan a la Tierra, es importante que sean lo suficientemente fuertes como para realizar actividades extenuantes en el espacio, tales como caminatas espaciales y procedimientos de emergencia durante el aterrizaje. El astronauta se prepara para situaciones como completar una rutina de ejercicio regular en el espacio y también esto facilita un corto periodo de reacondicionamiento para recuperar sus músculos y huesos. (¶ 2)

Los astronautas que viven en la ISS durante periodos de hasta 6 meses se ejercitan durante aproximadamente dos horas por día. La rutina de ejercicios de cada astronauta se controla, y se puede ajustar si es necesario sobre la base de su evaluación de la condición mensual y los datos de las sesiones de ejercicio diario. Si

se programan los astronautas para realizar una caminata espacial, sus rutinas de ejercicio pueden ser alteradas o restringidas. (§ 4)

Según Convertino (1996) “El ejercicio representa la principal contramedida utilizada durante los vuelos espaciales para mantener o restaurar la capacidad aeróbica máxima (VO₂ máx.), la estructura músculo-esquelético, y la función ortostática.”⁴⁶

Convertino (2002) también agrega en otro de sus artículos “El ejercicio y la nutrición representan medidas principales que se usan durante el vuelo espacial [...]”

Reseña histórica de la actividad física en el espacio.

El desarrollo de la actividad física en el espacio no es una actividad nueva, los programas de entrenamiento de fuerza y resistencia comenzaron a diseñarse desde los primeros vuelos espaciales. La aptitud física inicial de los aspirantes a astronautas era un criterio relevante y muy tenido en cuenta por las agencias espaciales para elegir a los candidatos.

Teitel Amy (2011), historiadora del espacio y escritora, señala en el artículo titulado “Astronaut Training: Test Yourself To See If You Have The Right Stuff To Be Shot Into Space” como fue la selección de los astronautas y el papel de la aptitud física en ellos:

En 1958, cuando la NASA comenzó su búsqueda para el primer grupo de astronautas de Estados Unidos, nadie sabía lo que era un astronauta o lo que se espera de ellos. Esto hizo que el proceso de selección fuera vulgar, construido en el ensayo y error. ¿Qué clase de hombre tendría el comportamiento ideal de un astronauta? ¿Cuál fue el origen genético apropiado? Y lo que era más importante en

⁴⁶ Convertino, VA. (1996). Exercise as a countermeasure for physiological adaptation to prolonged spaceflight. *Medicine and science in sport and exercise*. 1996 Aug; 28(8):999-1014. Review. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8871910>

vuelo: ¿la aptitud física o mental? la aptitud física es ciertamente una parte de él, y las pruebas de aptitud física que enfrentaron los astronautas del Mercury eran poco convencionales, no totalmente inesperado si tenemos en cuenta que los astronautas fueron atados en una cápsula que impedía todo movimiento. Entonces, ¿cómo se forma un hombre para volar en el espacio si no se puede mover? (§1)

Como posibles astronautas, la NASA consideró brevemente acróbatas, contorsionistas y temerarios. Todas las personas familiarizadas con los ambientes de hacinamiento y trabajos peligrosos. Pero el presidente Eisenhower tenía otras ideas para el cuerpo de astronautas y estipuló que el grupo de candidatos se limitara a los pilotos de pruebas militares. Estos hombres (porque todos ellos eran hombres en la década de 1950) tenían autoconfianza y seguridad en tiempos de guerra y se sentían cómodos en entornos desconocidos en el aire. Una mezcla perfecta. Además de este fondo bastante común fue un conjunto de factores limitantes: los candidatos tenían que ser menores de 40 años de edad, poseer un título de licenciatura en equivalente de ingeniería o algo así, ser graduado de una escuela piloto de pruebas, y ser un piloto de jet calificado con por lo menos 1.500 horas de vuelo. (§2)

Físicamente, los candidatos a astronauta tenían que "estar en excelentes condiciones físicas", medir por debajo de los cinco pies once pulgadas, y pesar menos de 180 libras. Los límites de altura y peso, curiosamente, no tenían nada que ver con las exigencias físicas impuestas a los astronautas, pero sí con el tamaño

limitado y la capacidad de sustentación del Atlas Redstone ⁴⁷ y otros vehículos de lanzamiento. Si un astronauta pesa 185 libras, olvídale.. (§3)

De la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, la Marina de los Estados Unidos, y la United States Marine Corps, sólo 110 hombres cumplieron con estos requisitos. Los primeros 69 voluntarios fueron entrevistados, 32 de los entrevistados fueron seleccionados para pasar a la ronda final en el proceso de pruebas, pruebas de aptitud física y mental de la Clínica Lovelace en Albuquerque, Nuevo México. (§4)

Las pruebas psicológicas son esenciales para asegurar que los astronautas sean capaces de pensar claramente en situaciones peligrosas. Con este fin, las pruebas psicológicas incluían pruebas de Rorschach⁴⁸, pruebas de cámara de aislamiento térmico, pruebas, pruebas en frío, y una variedad de otras pruebas diseñadas para ver qué candidatos se rompería bajo presión y que fueron capaces de mantener la calma. (§5)

Las pruebas físicas, sin embargo, trajeron una serie de diferentes desafíos. ¿Cómo podría la NASA determinar el nivel de aptitud óptima de un hombre sentado en un espacio confinado? Apenas podía mover las piernas y desde luego no iba a hacer nada físicamente tan exigente como un paseo espacial. La aptitud general era una necesidad, el programa Mercury fue el primer plan a largo plazo de la NASA y

⁴⁷ Atlas y Redstone era dos tipos de cohetes que se utilizaron para propulsar las capsulas del Mercury. Los Atlas se utilizaban para los vuelos orbitales y los redstone para vuelos suborbitales.

⁴⁸ Técnica y método proyectivo de psicodiagnóstico en donde se presentan imágenes para ser interpretadas por el sujeto evaluado.

las misiones posteriores tendrían probablemente los mismos astronautas pero con roles mucho más exigentes desde lo físico. (¶6)

Para la Nasa el ejercicio físico se aplica ya hace tiempo en los vuelos espaciales. La historia del entrenamiento físico utilizado como contramedida en los vuelos espaciales comenzó con el programa de Géminis. En el artículo de revisión histórica “The history of exercise in human spaceflight” se describe el incremento de los medios para la realización de la actividad física en el espacio:

Programa Géminis.

La nave espacial Géminis era una “cápsula” de dos personas, solo ligeramente más grande que la de la nave Mercurio, nave para una sola persona, que antes había iniciado el viaje de EE.UU al espacio. En la segunda misión Géminis (Géminis IV) se llevó a cabo el primer ejercicio en vuelo. El dispositivo utilizado consistió en dos cuerdas elásticas de goma unidas a un mango de nylon en un extremo y a un fostrap de nylon en el otro. Se necesitaban Setenta libras de fuerza para estirar las cuerdas elásticas para una extensión máxima de 12 centímetros. El ejercicio duró 30 segundos, los astronautas extendían los cables de sujeción de goma a través de una contracción y relajación de ciclo por segundo. Durante la misión de 4 días del Géminis IV, cada astronauta llevaba a cabo este ejercicio quince veces. El dispositivo de cuerda elástica se utilizó en todos los vuelos posteriores, incluyendo Géminis VII que, a los 14 días en el espacio, fue la misión más larga en duración en el tiempo. Agregado para Géminis VII, y se utilizó en misiones posteriores del Géminis, fue un ejercicio isométrico realizado por los astronautas de dos a tres veces al día.

Programa Apolo.

El siguiente esfuerzo humano del vuelo espacial NASA fue el programa Apolo, que emplea una nave de tres personas con el propósito de explorar la Luna y regresar las muestras lunares a la Tierra. El programa Apollo duró desde octubre 1968 a julio 1975. Una pequeña caja de ergómetro fue desarrollada inicialmente para el ejercicio en la cápsula Apolo, pero más tarde fue cancelada debido a las limitaciones de peso en las naves espaciales. Se sustituye por un dispositivo de fricción variable de cuerda y polea, que fue utilizado con poca frecuencia por la tripulación.



Figura 12. El exer-genie, dispositivo de ejercicio utilizado en algunas misiones del Apolo.
Fuente: Reduced muscle mass, strength and performance in space.

Sin embargo, en las seis misiones de aterrizaje del Apolo, dos de los tres miembros de la tripulación fueron sometidos a ejercicio adicional mediante la realización de actividades extra-vehiculares lunares. El programa Apollo, a través de pruebas de pre-y post-vuelo de los astronautas, fue el primer programa en descubrir un patrón de falta de condición física vuelos espaciales y ha llevado a la creación de ejercicios

como candidato de contramedidas para las misiones Skylab de larga duración prevista.

Skylab.

Skylab fue, en esencia, la primera estación espacial [...] El programa Skylab marcó el inicio de un estudio sistemático del ejercicio como una forma de mitigar los efectos negativos de los vuelos espaciales. Había tres misiones Skylab, SL-2, SL-3 y SL-4, con una duración 28, 54 y 84 días, respectivamente. Cubrieron el período del 25 de mayo de 1973, cuando se puso en marcha SL-2, el 8 de febrero de 1974, y cuando SL-4 aterrizó con éxito. Pero mientras que el ergómetro ha demostrado ser un dispositivo superior para el ejercicio aeróbico, no podía generar las fuerzas necesarias para mantener la fuerza para caminar en un ambiente de micro-gravedad.

(¶4)

En el SL-2 una bicicleta ergo-métrica, especialmente diseñada para la misión, era el único medio para hacer ejercicio. Permitted a los tripulantes utilizar las manos o los pies para pedalear, y era capaz de una amplia gama de velocidades de trabajo. El ergómetro se utilizó tanto en un modo experimental y como un dispositivo de ejercicio. [...] (¶5)

Por lo tanto, el trabajo se inició después de SL-2 en los dispositivos para el ejercicio de los brazos, las piernas y el tronco. Dos dispositivos se desarrollaron, MK-1 y MK-2, que a continuación se utiliza, junto con el ergómetro, en SL-3. El MK-1 era una versión modificada de un dispositivo disponible en el mercado, el Mini-Gym, un ejercitador isocinético, se tiraba de la cuerda que funcionó en una acción de tipo frenado centrífugo. El MK-2 consistió de dos asas con una medida

máxima de extensión conectada entre ellos. Los resortes permitirían fuerzas tan altas como 25 libras por pie de extensión a desarrollar. El tiempo de ejercicio aumentó en SL-3 y los dos dispositivos añadidos, MK-1 y MK-2, resultaron beneficiosas, sobre todo para mantener la fuerza del brazo. (¶6)

Para la función de la pierna, sin embargo, los dispositivos eran de un beneficio mínimo. Por consiguiente, se añadió una cinta de correr para la misión SL-4. La cinta, que al igual que MK-1 y MK-2 estaba en desarrollo desde el retorno de SL-2, constaba de una superficie de aluminio isorreticular⁴⁹ recubierto de teflón unido al suelo. Cuatro amortiguadores auxiliares de goma, unidos a un arnés de cintura y el hombro, siempre con un peso equivalente a 80 kilos. Se utilizan los amortiguadores auxiliares para cambiar y aumentar la pendiente de la superficie para caminar, por lo que el astronauta se presentaría como en una colina resbaladiza. En Skylab 4, los astronautas utilizaron el ergómetro, MK-1 y MK-2 aproximadamente con la misma frecuencia y duración como la tripulación en Skylab 3. (¶7)

La cinta fue utilizada durante aproximadamente diez minutos cada día, y el ejercicio incluía caminar, saltar y correr. Además, el equipo de SL-4 utilizaba las cuerdas elásticas y los arneses para realizar sentadillas y aumenta la carga de los pies, e incluyó el torso con ejercicios isométricos en su rutina diaria. Después de pasar 84 días en el espacio, en el SL-4, los astronautas regresaron a la Tierra en mejores condiciones que lo hicieron las tripulaciones de las dos primeras misiones

⁴⁹ Es una estructura parcialmente ahuecada formada por lo general de una placa de metal individual con nervios de refuerzo triangulares integrales. Son de bajo peso, rigidez, resistencia y tolerancia a los daños se usan en aeronaves o vehículos espaciales

Skylab, con pérdidas muy pequeñas de fuerza en el brazo, de la fuerza de las piernas y del peso. (¶8)

El sitio web *descsite* también señala en el artículo “In-flight exercise protocols to enhance the muscle-skeletal system” la evolución que hubo en la prescripción del ejercicio en el programa Skylab:

Durante el programa Skylab, se añadieron gradualmente ejercicios y aparatos de ejercicio y la prueba era ampliarlos con cada misión. Esto produjo un entorno de ejercicio diferente para cada vuelo

Debido a que la dotación de equipos de ejercicio de esta misión fue el más grande (que consiste en una bicicleta ergo-métrica, una cinta de correr manual, y el "Mini gym", los dispositivos comerciales modificadas que proporcionaban la capacidad para ejercicios de resistencia de baja carga; las pérdidas de masa y fuerza muscular fueron menos que en los dos misiones anteriores de una duración más corta.

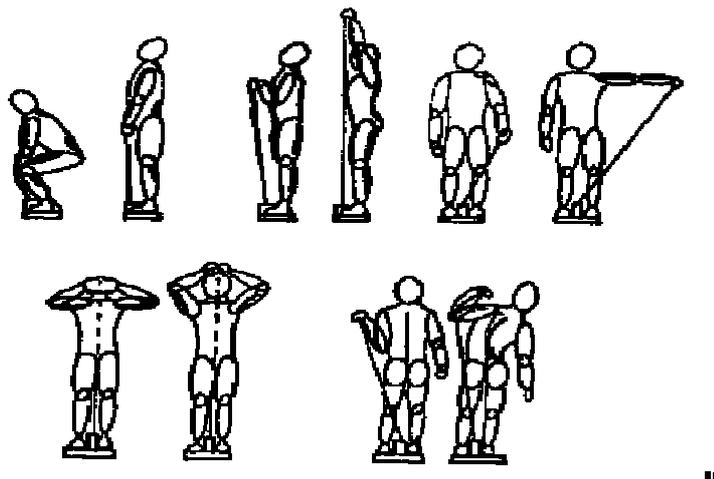


Figura 13. Ilustraciones del “Mini-gym” en sus distintas modalidades.

Fuente: In-flight exercise protocols to enhance the muscle-skeletal system.

La NASA señala en uno de sus documentos titulado “The History of Skylab” una situación particular en la prescripción y control del ejercicio que se dio en dicho programa de vuelo con los tripulantes:

Los astronautas de la NASA y los médicos estaban en desacuerdo sobre los experimentos médicos desde los días del Géminis. Los astronautas sintieron que estaban siendo tratados como conejillos de india, en lo que fueron vistos a menudo como experimentos innecesarios. (Parte 3, ¶ 12)

El ejercicio físico es una de las actividades disputadas por los dos grupos. Los médicos querían controlar el ejercicio antes y durante una misión por sus implicaciones médicas, lo ideal hubiera sido que se midiera toda la actividad física. Los astronautas se opusieron a rígidos controles, debido a inconvenientes personales, así como la creencia de que se podía juzgar mejor su necesidad de ejercicio. No se hizo ningún intento de regular todos los ejercicios dado el compromiso alcanzado por los tripulantes en Skylab; el consultorio médico se conformó con mediciones periódicas de la condición física. El ejercicio diario individual se dejó a elección de los astronautas, en el entendimiento de que los tripulantes reporten el largo y duración que habían trabajado. (Parte 3, ¶ 13)

El ergómetro, la máquina de ejercicio principal, siempre fue un medio para medir la carga de trabajo. La primera tripulación tenía permitido, por el plan de vuelo, unos 30 minutos al día para hacer ejercicio ya sea en el ergómetro o un dispositivo isométrico. Dos veces a la semana cada miembro de la tripulación probaba su respuesta fisiológica al ejercicio mediante la realización del experimento metabólico, M 171. Más específicamente, M 171 medía los cambios en la respuesta

metabólica al trabajo, conocer la presión arterial y la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno. Había cinco periodos en la prueba de 25 minutos: una fase de descanso para establecer la tasa metabólica, tres períodos de ejercicio al 25%, 50%, y 75% de la capacidad máxima del miembro de la tripulación para el trabajo (determinada en los ensayos de verificación previa), y una fase de recuperación. Un objetivo secundario de M171 fue el de evaluar el ergómetro como un ejercitador para vuelos de larga duración. Durante las misiones a la Luna, la capacidad del equipo para hacer ejercicio se ha limitado por el tamaño de la nave espacial Apollo, y la mayoría de los astronautas habían mostrado una disminución en el acondicionamiento físico. La derrota fue temporal (dentro de las 36 horas que normalmente se volvió a los niveles pre-vuelo de ejercicio), pero indicaba un peligro potencial a largo plazo durante el vuelo. (Parte 3, ¶ 14)

El problema con el ergómetro surgió durante la primera carrera de Weitz en el experimento metabólico, el 28 de mayo. A causa del calor en el taller, Kerwin había recomendado acortar el calendario de M171. Houston animó al equipo a intentar todo el ejercicio, ya que la desviación del experimento en el calendario afectaría los controles experimentales. Sin embargo, a mitad del tercer nivel del ejercicio, Weitz dio por terminada la prueba. El arnés destinado a asegurar a los astronautas a su bicicleta, fue la principal restricción de movimiento para la cintura y el hombro. Weitz encontró que estaba haciendo mucho del trabajo con las manos, y que no era suficiente el trabajo con los músculos grandes de las piernas. Durante la comunicación privada el 29 de mayo, Conrad informó que el ergómetro no podía ser montado en el espacio como lo había sido en la tierra y le preguntaron si la

tripulación pudo terminar el régimen de ejercicio completo. Unas horas más tarde, Kerwin tampoco pudo completar el ejercicio. Conrad persistió hasta el final, pero en comparación del tercer nivel a "20 minutos después de una carga de trabajo" le dijo al Control de Misión: "Yo estaba realmente quedándome sin ganas. Y sin embargo, estaba usando músculos que no se utilizan normalmente en el suelo". El equipo recomendó reducir la carga de trabajo (cantidad de resistencia en los pedales ergómetro) en un 10-20% para compensar la dificultad de viajar en el espacio. (Parte 3, ¶ 15)

Los problemas iniciales sobre la bicicleta se vieron agravados por una apretada agenda haciendo que la tripulación reduzca el tiempo destinado al ejercicio físico. El 31 de mayo Kerwin se quejó de que el plan de Houston en vuelo fue eliminando el periodo de actividad física: "Se ha programado estrictamente en el papel, por lo que a nosotros respecta, ya que las otras tareas programadas han tomado tanto tiempo que el producto se haya absorbido y acabara con el entrenamiento físico". El ejercicio fue programado con demasiada frecuencia para tener un requisito de tiempo fijo, justo antes o después de una actividad muy importante. Kerwin considera esto un error grave y confía en que el Control de Misión le daría al periodo de ejercicio "prioridad en la mayoría de los otros objetivos. " (Parte 3, ¶16)

Durante la segunda semana, la tripulación experimentó con diferentes posiciones sobre el ergómetro, inclusive descartar eventualmente el arnés por completo. Los astronautas descubrieron que podían estabilizarse mediante el bloqueo de sus tacos triangulares en los pedales y colocando sus manos en el techo

o en el manillar. Conrad muestra una habilidad para la “ergometría del brazo”, pedaleando con las manos mientras sus pies presionan contra el techo. Después de desechar el arnés, y después de que el taller se había enfriado, el equipo regresó a los niveles de verificación previa de ejercicio. En una conferencia de prensa el 6 de junio, Edward Michel, investigador principal de M 171, reconoció que la eliminación del cableado había afectado a los controles para su experimento, con el calor excesivo de la primera semana se tendrían que tener en cuenta las carreras iniciales en la evaluación. Parecía aliviado, sin embargo, la tripulación había encontrado una manera de viajar en el ergómetro. (Parte 3, ¶ 17)

El 4 de junio, el equipo comenzó los planes para liberar el panel solar, confiados en que habían resuelto sus dificultades con el ergómetro. Sin embargo, los médicos de Houston se alteraban por los resultados iniciales del experimento M171. Las frecuencias de pulso se habían quedado anormalmente altas, y Conrad mostró una serie de palpitations en el corazón. El consultorio médico no había dicho nada sobre el asunto de la tripulación a la prensa, de hecho, los médicos no habían conocido los detalles de varios días a causa de los retrasos en el flujo de datos. Se atribuyó esta situación a los altos índices de calor y al arnés, pero algunos pensaban se podrían estar viendo los primeros efectos de la ingravidez. Los médicos estaban particularmente ansiosos para volver a probar a Conrad antes de intentar la actividad extra-vehicular. Esa noche Charles Ross, médico de la tripulación, dijo a Conrad sobre el problema y dijo que Houston estaba haciendo planes especiales para su M171 para correr al día siguiente, la programación del experimento se basó sobre el rastreo de estaciones estadounidense del Norte para que la oficina médica pueda recibir los datos rápidamente. Los médicos le recomendaron a Conrad reducir

su carga máxima de trabajo. Si se presentaban palpitations adicionales, los médicos querían evitar el ejercicio extenuante, incluyendo la actividad extra-vehicular. (Parte 3, ¶18)

La tripulación estaba sorprendida, creyendo que los médicos habían reaccionado exageradamente a la información obsoleta. Conrad se molestó en particular con Houston por no preguntarle al Dr. Kerwin o a sí mismo por una evaluación personal. Antes de su quinta carrera en el M171, Conrad solicitó una comunicación privada para aclarar la situación médica. Sobre la línea privada, la tripulación del Skylab dijo a los funcionarios que se encontraban en perfecto estado y quería hacer ejercicio tanto como sea posible. Kraft lamentó la aparente confusión y aseguró a la tripulación que no había ninguna duda acerca de su buena salud. De hecho, el consultorio médico había alterado su plan desde la noche anterior, pero no había dicho nada a la tripulación. Las nuevas instrucciones de la carga de trabajo de M171 fueron a discreción de la tripulación. (Parte 3, ¶ 19)

El asunto fue cerrado por la tarde cuando Conrad corrió el protocolo completo M171 sin dificultad. No hubo ningún intento de restar importancia a partir de entonces a la realización del ejercicio. Conrad describiría más tarde el incidente como “una cosa muy importante en todo el vuelo.” Al final de la misión estaba en mejores condiciones que sus compañeros de tripulación, presumiblemente debido a su mayor nivel de ejercicio. A instancias de la primera tripulación, Houston aumento la actividad física en las misiones posteriores, con resultados beneficiosos. (Parte 3, ¶ 20)

Siguiendo con la historia del ejercicio en los vuelos espaciales tripulados descrita por la NASA, veremos que sucedía en el programa transbordador espacial y el programa Mir:

Programa del transbordador.

El programa del transbordador espacial en curso todavía es ampliado y perfeccionado en el estudio del ejercicio como una contramedida a la adaptación al espacio. A pesar de que no hay ningún requisito de realizar ejercicio en la misión del transbordador, hay reglas de vuelo para proporcionar a los astronautas un período de ejercicio diario de una hora como parte de su plan de actividades del equipo. Por supuesto los miembros de la tripulación que se ofrecen para ser sujetos de prueba para las investigaciones de ejercicios en vuelo siguen regímenes prescritos que se detallan en los protocolos de ejercicio. El complemento del ejercicio diseñado utilizado en las misiones de transporte que incluyen un ergómetro, una cinta para correr y un aparato de remo. (9)

El ergómetro de bicicleta es una modificación del dispositivo que se utilizó en el Skylab. Su principio de funcionamiento se basa en un mecanismo de resistencia de frenado, banda / volante de inercia controlado por un motor paso a paso. La carga de trabajo en el ergómetro se calibra y ajusta manualmente, y muestra la carga de trabajo y la velocidad del pedaleo. Durante la operación, el astronauta encaja los zapatos en el pedal vinculante de la bicicleta con moderación y las caderas se mantienen en su lugar con un cinturón de seguridad, mientras que el tronco se inclina sobre una almohada de respaldo. La cinta empezó como un dispositivo pasivo que consiste en placas de aluminio con rodillos en el extremo que estaban conectados en serie para formar un cinturón. Más tarde se sustituye por un

nuevo dispositivo con una superficie de rodadura más grande construido con secciones de banda de rodadura compuesta de peso ligero. El sistema de arnés de sujeción también se ha rediseñado para una mejor comodidad y ajuste, y permite la medición continua de las fuerzas desplegadas. (§10)

La nueva cinta de correr con la banda de rodadura muestra la velocidad, la distancia recorrida, la duración del ejercicio, e incluye la capacidad de instalar un motor para accionar la banda de rodadura para la locomoción activa. El aparato de remo es un dispositivo sin asiento con una plataforma de anclaje para los pies de dos puntos y un ángulo ajustable de operación. Para misiones del transbordador que duran más de 11 días, las reglas de vuelo desarrollado por científicos de la NASA prescriben el ejercicio cada dos días a partir de la cuarta jornada de la misión y hasta el día antes del fin de la misión. (§11)

Programa Mir.

En el programa de vuelos espaciales tripulados de Rusia, el ejercicio siempre ha sido considerado como una clave de contramedida para minimizar la atrofia del músculo esquelético, la pérdida de calcio de los huesos y para prevenir la pérdida de acondicionamiento físico. En los primeros vuelos tripulados rusos de larga duración, los cosmonautas realizaban ejercicios de la parte superior del cuerpo durante dos períodos de una hora por día con cuerdas elásticas. En las misiones de larga duración los períodos de ejercicio se hacían más largos, se incrementaron cerca de 2.5 horas por día, incluido un ciclo-ergómetro y una cinta de correr. El tipo de ejercicio, el nivel de intensidad y el tipo de equipo utilizado se adapta a cada cosmonauta y se rotaron en un ciclo de cuatro días. Actualmente en las estación espacial rusa Mir los regímenes de ejercicios se adaptan a las tres fases de la misión:

el primer mes, que es el periodo de adaptación aguda para el medio ambiente espacial, el período después del primer mes, y los últimos dos meses antes de volver a Tierra. (¶12)

Durante los primeros días del primer mes se sugieren sólo ejercicios isométricos limitados que involucran el cuello, la espalda, los brazos y las piernas. Después del quinto día, el ejercicio se lleva a cabo mediante el cicloergómetro y tapiz rodante con aumento gradual de las cargas de trabajo hasta completar la duración, alrededor de dos horas por día, y se consigue además intensidad. Además, los ejercicios de entrenamiento de fuerza se prescriben con un expansor y cuerdas elásticas. Estos últimos aproximadamente 20-30 minutos por día. Este complemento completo de ejercicio es seguido durante toda la fase intermedia de la misión. Durante los últimos dos meses, el equipo ejercita sólo en la cinta durante dos períodos de una hora por día. En el curso de la colaboración entre EE.UU. y Rusia en la Mir, el programa de NASA / Mir, los astronautas estadounidenses en la estación espacial rusa siguió protocolos de ejercicios similares. (¶13)

Estación Espacial Internacional (ISS).

En investigaciones más recientes que las anteriores se describe la realización del ejercicio en la ISS y las principales dificultades para el desarrollo de la actividad física.

La primera tripulación de la Estación Espacial Internacional (Expedición 1) llegó en octubre de 2000, y desde entonces ha habido 15 incrementos adicionales. Los datos que aquí se presentan fueron recogidos durante las primeras 11 expediciones de la ISS.

La complejidad y las deficiencias de la recolección de datos científicos de un laboratorio se da que orbita a más de 300 kilómetros sobre la Tierra y completando 18 órbitas por día a una velocidad de más de 17.000 millas por hora con voz discontinua y comunicaciones de datos,[...]

Otro problema es el hardware ejercicio que se construyó y se puso en marcha, pero no cumplió con los requisitos de la ciencia. El dispositivo de ejercicio de resistencia [RED] era un requisito de ciencias, su desafío era proporcionar una carga de hasta un equivalente de 600 libras., Pero la RED provisional [IRED] proporciona sólo la mitad de esa cantidad. Estudios basados en tierra han demostrado que lo que hace es producir un efecto positivo similar a los pesos libres equivalentes a cuando se utilizan en un programa de alta intensidad, pero es probable que no proporcione suficiente carga en un entorno de gravedad cero como para evitar la pérdida de tejido muscular y óseo, tal como se determina a partir de estudios de vuelo parabólico. Otros problemas fueron la insuficiencia en un momento u otro de cada máquina de ejercicio a bordo de utilización reducido en otras ocasiones, y otras limitaciones impuestas por la transmisión de fuerzas a la estructura espacial de haber confundido las sesiones de ejercicio durante el vuelo. De hecho, durante las primeras once expediciones de la ISS, sólo por 2 períodos cortos durante expediciones 3 y 4 fueron los tres dispositivos de ejercicio a cargo de los EE.UU., el ciclo-ergómetro con sistema de aislamiento de vibraciones [CEVIS], la rueda de ardilla con sistema de aislamiento de vibraciones y el IRED capaz de ser utilizado en condiciones nominales. La disponibilidad casi continua

sub-óptima del equipo de ejercicio es probable que haya tenido un impacto negativo en el mantenimiento de la aptitud física de la tripulación.

A continuación en la figura se detalla el uso del hardware y su disponibilidad en la ISS.

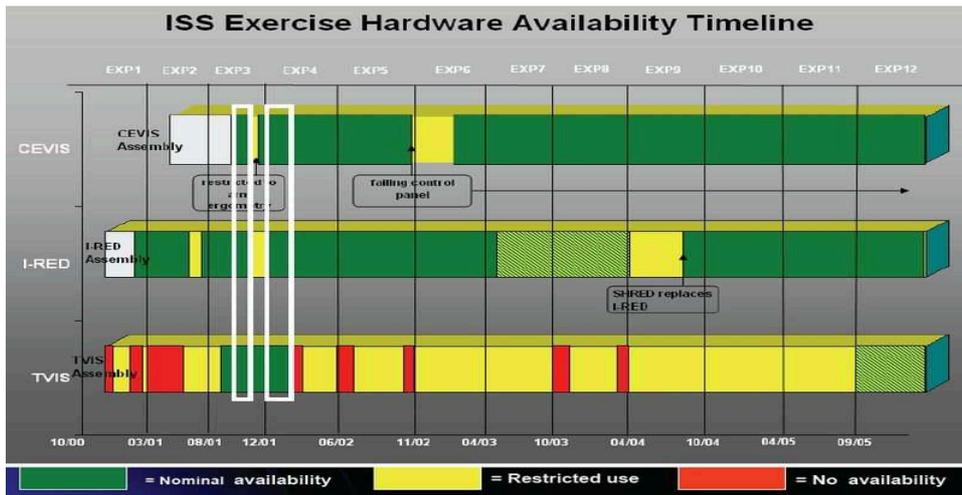


Figura 14. Fallas en los equipos de ejercicio aeróbicos y de resistencia en la ISS.

Fuente: Reduced muscle mass, strength and performance in space.

Mediante este breve resumen histórico es posible ver cómo las contramedidas ejercicio evolucionaron a lo largo de los distintos vuelos espaciales. Tales medidas se utilizaron durante los vuelos tripulados, los tripulantes se pusieron a prueba a su regreso, y los regímenes de ejercicio y equipos fueron modificados para su uso en futuras misiones.

Medios para contrarrestar los efectos de la micro-gravedad

Durante muchos años las distintas agencias espaciales han investigado los beneficios de utilizar el ejercicio en el espacio para mantener la salud de los astronautas. En el diseño de maquinas de ejercicio para las misiones de exploración, los investigadores deben tener en cuenta las limitaciones del tamaño de los equipos, las variantes de ejercicio que pueden desarrollar en los mismos, el peso de la maquinaria y el gasto energético que son impuestos

por el entorno de micro-gravedad. Se deben tener en cuenta factores específicos en el diseño del hardware para permitir que los astronautas carguen adecuadamente sus cuerpos con arneses y sistemas de retención/fijación y el confort para completar sus programas de ejercicio prescritos correctamente.

A lo largo de la historia se han utilizado distintos dispositivos e indumentaria para el entrenamiento de la fuerza y la condición cardiovascular. Comenzaremos por describir y caracterizar los trajes que mantienen el buen funcionamiento del sistema cardiovascular y el sistema músculo-esquelético.

Trajes para mantener la condición física.

Susan Mc Hale en su sitio "RuSpace" describe una de las contramedidas (uso de indumentaria especial) que adoptó la agencia espacial rusa para mantener saludables a los astronautas.

Traje Braslet.

El braslet ("Bracelet") es un conjunto de puños y correas de compresión usados en los primeros días de un tripulante de adaptación al ambiente de micro-gravedad. En microgravedad el fluido naturalmente tiende a acumularse en las porciones superiores del cuerpo lejos de las piernas, lo cual causa incomodidad (tales como senos nasales congestionados) y el traje braslet se usa para contrarrestar esta adaptación comprimiendo las extremidades inferiores y forzando a la sangre a circular allí. (¶2)

Braslet y braslet-m deben ser utilizados durante la fase aguda de adaptación a la microgravedad para la prevención de sus efectos adversos sobre el sistema

cardiovascular. Durante la operación, los puños de compresión se adjuntan al cinturón mediante correas. El cinturón se utiliza para proteger los puños de compresión en posición de trabajo en los muslos de los miembros de la tripulación, utilizando libremente correas móviles. El Braslet y braslet-m crean una compresión en tercios superiores de los miembros de la tripulación. Esto hace que una parte del volumen de sangre circulante se traslade desde la parte superior del cuerpo a las extremidades inferiores, que corrige los efectos negativos de la micro-gravedad sobre la hemodinámica mejorando así la capacidad de trabajo de la tripulación. (¶3)

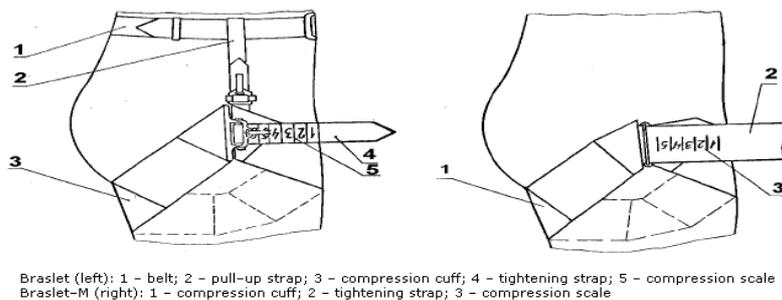


Figura 15. Traje Braslet y sus partes.

Fuente: Microgravity countermeasures. Devices. Ruspace.

Traje Chibis.

El Chibis es traje que actúa como un dispositivo mecánico de presión reducida que proporciona una presión negativa alrededor de la zona inferior del cuerpo de usuario con el fin de evaluar la aptitud cardiovascular antes de volver a la Tierra. La sangre es forzada hacia abajo para las piernas del usuario, lo que aumenta el ritmo cardíaco y da al miembro de la tripulación un entrenamiento cardiovascular. (¶4)

Chibis es un dispositivo de baja presión por debajo de la cintura diseñado para proporcionar la simulación de la gravedad-estrés para el sistema cardiovascular

y circulatorio del cuerpo. Se forma un sello hermético alrededor de la cintura y se aplica succión a la parte inferior del cuerpo. [...] seguido por una secuencia de regímenes progresivos de reducción negativa de presión, fijado en -15, -20, -25, y -30 mmHg (Torr) durante cinco minutos cada vez que va cambiando de un pie al menos 10-12 pasos por minuto, mientras que con un esfigmomanómetro se va midiendo la presión arterial. El sistema circulatorio del cuerpo interpreta el diferencial de presión entre la parte superior e inferior del cuerpo como una fuerza similar a la gravedad tirando de la sangre (y otros líquidos) hacia abajo. Prepara así la tolerancia ortostática del cuerpo [...]. Los datos biomédicos y las lecturas cardiovasculares se registran por medios biomédicos. El traje Chibis (que no debe confundirse con el traje ruso Pinguin para la compresión del cuerpo de resorte, o la Kentavr anti-g traje utilizado durante la reentrada) es similar a la instalación de EE.UU. el LBNP (que no es un traje) utilizado por primera vez en el Skylab en 1973/74. ([5])



Figura 16. Imagen del traje Chibis.

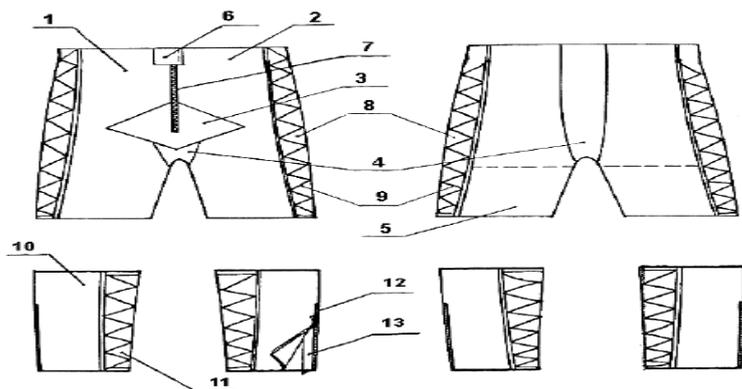
Fuente: Journey to Mars: Physiological Effects and Operational Consequences of Long-Duration Microgravity Exposure

Traje Kentavr.

El Kentavr ("Centaur") es una prenda de vestir a modo de corsé que se lleva como un par de pantalones cortos. Está fuertemente atado y usado durante el descenso para evitar que la sangre se acumule en las piernas en la declaración de la gravedad (similar a un g-traje utilizado por los pilotos de combate). (¶7)

- Es una contramedida para el trastorno circulatorio;
- impide que se sobrecarguen los integrantes de la tripulación durante el descenso;
- aumenta la tolerancia ortostática durante la adaptación posterior al vuelo.

Consta de pantalones cortos, polainas, calzoncillos, camiseta y calcetines, actúa como una contramedida para los trastornos circulatorios, evita la sobrecarga de los miembros de la tripulación durante el descenso y aumenta la tolerancia ortostática durante la adaptación posterior al vuelo. (¶8)



Kentavr suit: Shorts: 1 - shorts right side; 2 - shorts left side; 3 - front insert; 4 - shorts middle part; 5 - shorts thigh part; 6 - Velcro belt flap; 7 - zipper; 8 - side panel; 9 - lacing. Gaiters: 10 - main part; 11 - side panel; 12 - zipper; 13 - zipper flap

Figura 17. Traje Kentvar y sus especificaciones técnicas

Fuente: Microgravity countermeasures. Devices. Ruspace.

Traje Penguin.

Los trajes Pingvin (pingüino), son ligeros monos azules incrustados, con tiras elásticas cosidas que proporcionan resistencia a las cargas para el usuario en respuesta a su movimiento de brazos y cuerpo. Se utilizan para producir tensión en el pecho, espalda, abdomen, laterales y en las piernas. Esto proporciona el ejercicio para su sistema músculo-esquelético y así luchar contra los efectos nocivos producidos por la micro-gravedad. El portador puede hacer movimientos periódicos de pedaleo con las piernas durante 5-10 minutos, 6-8 veces al día. El traje es sustituido luego de 45 días de uso. (¶9)



Figura 18. Traje Penguin.

Fuente: ISPO 2006: Space metes sports. Esa health care network.

Lower Body Negative Pressure (LBNP).

El mismo es un dispositivo de presión negativa que se utiliza de manera frecuente sobre el tren inferior de los astronautas para simular el estrés gravitacional. Se utilizó en el entorno del espacio, para hacer hincapié en el sistema cardiovascular de los astronautas, para determinar el curso de extensión y tiempo de del acondicionamiento cardiovascular.

La parte inferior del cuerpo del sujeto se adjunta en este dispositivo con el fin de aplicar presión regulada, controlada y negativa; la presión negativa en vuelo se obtuvo del espacio vacío.

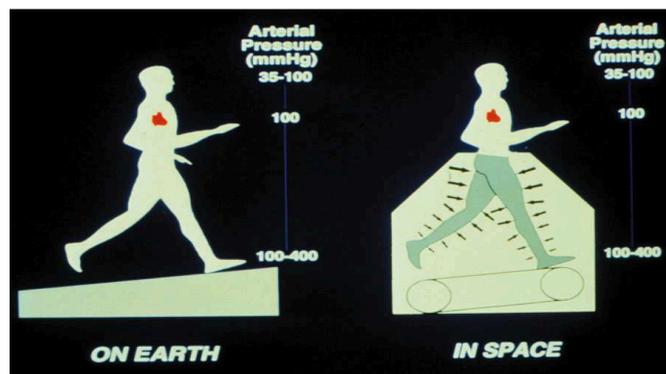


Figura 19. Ilustración del LBNP. La presión arterial en la tierra y en el espacio.

Fuente: Space biology modules. Cardiovascular & pulmonary. Research & applications. Mainsgate.com

Esch, Scott & Warburton (2007)⁵⁰ nos brindan detalles más precisos acerca de esta técnica utilizada.

La bajada de presión negativa en el cuerpo (LBNP) es una técnica importante y consolidada que se usa para enfatizar fisiológicamente en el cuerpo humano el sistema cardiovascular. (¶1)

Durante el uso del LBNP, los participantes se encuentran en una posición supina, con las piernas sellados en la cámara de LBNP a nivel de la cresta ilíaca. La presión del aire dentro de la cámara se reduce por una bomba de vacío, haciendo que la presión dentro de la cámara sea inferior a la presión atmosférica. Por las leyes

⁵⁰ Esch Ben T. A., Scott Jessica M & Warburton Darren E. R.(2007). Construction of a lower body negative pressure chamber. *Advances in Physiology Education*. January 2007 vol. 31 no. 1 76-81
DOI: 10.1152/advan.00009.2006. <http://advan.physiology.org/content/31/1/76.full>

de la dinámica de fluidos, la sangre se desplaza desde una zona de presión relativamente alta (es decir, la parte superior del cuerpo, que está fuera de la cámara) hacia una zona de presión relativamente baja (es decir, las piernas dentro de la cámara). [...]. El cuerpo se compensa por la vasoconstricción periférica y un aumento de la frecuencia cardíaca, que sirven para mantener la circulación normal. (¶3)

Maquinaria para la realización del ejercicio.

Las agencias espaciales han desarrollado enormes avances en opciones de entrenamiento físico disponible para que los astronautas durante el vuelo. El nuevo equipamiento tiene mayor capacidad para la realización de variados ejercicios.

Los nuevos conceptos y dispositivos de ejercicio son necesarios para responder a las exigencias del espacio y para reducir el tiempo destinado para el entrenamiento. Son dos los puntos clave en cuanto al ejercicio en el espacio, uno es desarrollar una mejor simulación de la locomoción terrestre y el otro es realizar una combinación de trabajo y el ejercicio físico (Essfeld D. 1990)

Los principales ejercicios en el espacio se ejecutan en una cinta de correr (TVIS), en un ciclo-ergómetro (CEVIS) y en un aparato que genera resistencia muscular (IRED y ARED).

Estos dispositivos y otros más aspiran a reproducir los esquemas físicos de carga que coinciden con la ejecución del ejercicio en la gravedad terrestre.

Comenzaremos por describir el dispositivo de ejercicios de resistencia provisional o también llamado por sus siglas IRED.

Dispositivo interino de ejercicio de resistencia (IRED).

Un factor clave para contrarrestar los efectos de la micro-gravedad en los astronautas será proporcionar ejercicios de resistencia (fuerza) para prevenir la atrofia muscular, pérdida de la fuerza y el deterioro óseo. El dispositivo de ejercicio de resistencia provisional (IRED) se ha diseñado y construido para evitar tales efectos en los principales grupos musculares y reducir al mínimo la pérdida de hueso manteniendo la fuerza, potencia y resistencia.



Figura 20. Imagen del IRED.

Fuente: Comparison of Strength Training with the International Space Station (ISS) interim Resistance Exercise Device (iRED) vs Free Weights. Edwin Mulder methods (2001)

La Nasa detalla bien las características y funciones del IRED.

El dispositivo de ejercicio de resistencia provisional (IRED) se utiliza a bordo de la ISS para ayudar al mantenimiento de la fuerza muscular. Los tripulantes se ejercitan diariamente en el IRED para mantener sus músculos antes del vuelo. El IRED se retiró en octubre del 2011, y su reemplazo es el dispositivo de ejercicio de

resistencia avanzada (ARED) que fue llevado a la Estación Espacial Internacional en una misión del transbordador espacial STS-126 en noviembre de 2008.

En la ISS, el IRED se puede configurar para permitir la realización de al menos 18 ejercicios diferentes, tanto para los músculos del tren superior e inferior. El IRED proporciona una carga de hasta 300 libras de resistencia.

El IRED funcionará en las siguientes modalidades:

El arnés Squat se utiliza para realizar sentadillas, peso muerto a pierna recta, peso muerto a piernas flexionadas, y sentadillas.

La barra corta se utiliza para llevar a cabo despegues de pierna recta, peso muerto con piernas dobladas, remo inclinado, remo de pie, curl de bíceps, press de hombros, abdominales, press de banca y flexiones de muñeca.

Las manivelas manuales se utilizan para ajustar la resistencia.

Los ejercicios de apretones de mano se utilizan para representar labores manuales de EVAs y para realizar levantamientos de hombro, press de hombros, curl de bíceps y extensiones de tríceps, curl de muñeca, remo inclinado con barra y remo de pie.

Las tobilleras se utilizan para realizar aducciones y abducciones de piernas, para abdominales inferiores, y para el trabajo de cuádriceps y de isquiotibiales de las piernas.

La resistencia. Cada bote del IRED proporcionará una carga máxima de resistencia de al menos 150 libras en el ajuste de la carga más alta. Con dos botes la

carga máxima de resistencia será de 300 libras. En las condiciones de carga más baja, cada bote del IRED proporcionará una carga resistiva que no excede los 30 kilos.

El Ajuste. Para resistencias de 100 libras o menos, la capacidad de ajuste será en incrementos de cinco libras a una precisión de 1 libra o + 5% de la lectura actual, lo que sea mayor. Por 100 libras o más, el ajuste será en incrementos de 10 libras de resistencia con una precisión de 1 libra o + 5% de la lectura actual, lo que sea mayor.



Figura 21. Utilización del IRED por parte de un astronauta.

Fuente: Comparison of Strength Training with the International Space Station (ISS) interim Resistance Exercise Device (iRED) vs Free Weights. Edwin Mulder methods (2001)

Dispositivo avanzado de ejercicios de resistencia (ARED).

El ARED es una maquina que sirve para el entrenamiento de la fuerza, es una versión mejorada del aparato anteriormente descripto (IRED).

Funciona como una máquina de pesas en un gimnasio en la Tierra y no tiene ningún peso convencional, tiene los cilindros de vacío que proporcionan las cargas de trabajo concéntricos hasta 600 libras.

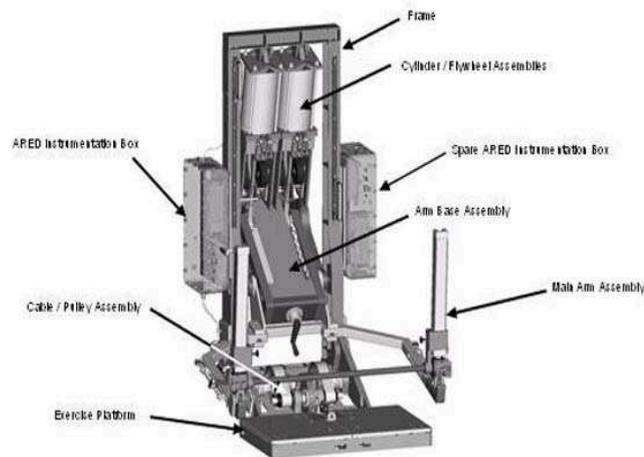


Figura 22. Advanced Resistive Exercise Device (ARED)

Fuente: Life Sciences Data Archive. NASA

A continuación veremos cómo la NASA describe con exactitud esta maquinaria.

El ARED, de las últimas máquinas de ejercicio a bordo de la estación espacial internacional, funciona como un gimnasio de alta tecnología para permitir el levantamiento de pesas con un máximo de 600 libras de carga, utilizando volantes se debe superar la inercia para simular los levantamientos de pesas.

El dispositivo funciona un poco como una bomba de bicicleta, sólo que al revés, dijo Mark Guilliams, un entrenador de la NASA. Por ejemplo, si usted está en cuclillas, el vacío se sale cuando se pone de pie, y cuando te pones en cuclillas hacia abajo, el vacío tira de la barra de nuevo a la posición normal.

Los astronautas pueden hacer ejercicios del tren superior e inferior del cuerpo, tales como sentadillas, peso muerto, elevación de talón, curl de bíceps y press de banca en el dispositivo, dijo la NASA.

El ARED es la primera pieza de equipo de ejercicio de la NASA para satisfacer esta necesidad. Para proporcionar la resistencia en cada ejercicio los dos cilindros son accionados por un pistón de vacío que son un poco como las bombas de bicicleta de gran tamaño. La resistencia aumenta cuando un pistón se tira adentro o hacia afuera, por lo que los pesos se establecen mediante el ajuste de la longitud de un brazo mecánico que se adhiere a los pistones para levantar barra.

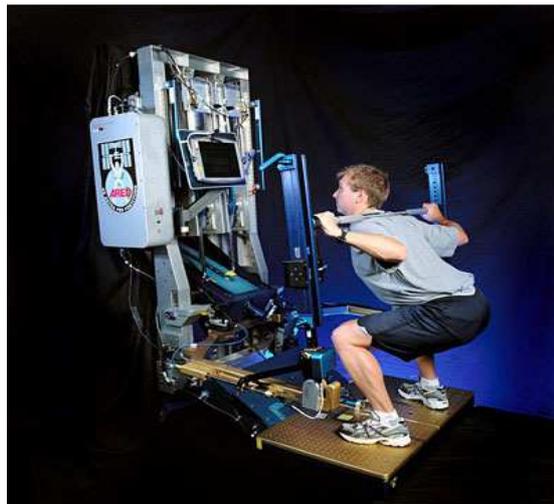


Figura 23. Ejercicio de sentadillas en el ARED.

Fuente: ESA. Space in images.

Junto a los pistones hay un volante de inercia, explicó un astronauta de la NASA especialista en rehabilitación y acondicionamiento de fuerza Jim Loehr. La superación de los pistones se establece cuando los volantes giran. Esa rotación, combinada con la presión de vacío, proporciona una fuerza contraria contra la inversión de dirección, de manera que una prensa de piernas en el espacio requiere

un esfuerzo cuando el peso se devuelve a su posición inicial, tal como lo hace en la Tierra.

El ARED fue diseñado para proporcionar una fuerza constante en todo el rango de movimiento, imitando el patrón de oro fisiológico de la resistencia de peso libre. En contraste, el IRED era una versión del siglo 21 de una máquina Bowflex, con resistencia unidireccional proporcionada por una ingeniosa disposición de bandas de caucho que proporcionan una curva de fuerza ascendente que no está de acuerdo con las pesas tradicionales, y puede perder fuerza con el tiempo.

Para algunos ejercicios, como sentadillas, una persona necesita levantar doble de peso en el espacio para obtener el mismo resultado que en la Tierra. Así que el peso máximo del IRED de 300 libras se traduce en tan sólo 150 libras ocupadas en la Tierra. El mantenimiento de la fuerza de piernas se convierte en algo extremadamente difícil con esa cantidad de peso. Y es en las piernas, acostumbrado al constante apoyo contra la gravedad de la Tierra, que se debilitan por primera vez en el espacio. La carga máxima del ARED de 600 libras hace que los astronautas puedan ponerse en cuclillas al equivalente a 300 libras en la Tierra, lo que debería ser suficiente para mantener las piernas en forma.

El ARED consta de siete conjuntos distintos: *Plataforma de Ejercicio*, es un subconjunto que se monta en el bastidor estructural ARED y proporciona la superficie desde la que se realizan los ejercicios. La plataforma alberga dos placas de fuerza, que actúan como la superficie de reacción para todos los ejercicios. Cuatro células de carga están instaladas en cada plataforma de fuerza

para medir las cargas reactivas. En este nivel de la prueba, se han instalado las ocho celdas de carga y arneses de cableado asociados. El *Cilindro / Volante* proporciona las fuerzas de resistencia para todos los ejercicios. Los *botes de vacío* proporcionan la fuerza primaria, mientras que los volantes se utilizan para simular el componente inercial del ejercicio a lo que se experimenta en el suelo. El *Ensamblaje principal* incluye el brazo de horquilla y los componentes de la barra de elevación. Las células de carga han sido instaladas en los montantes de la barra de elevación y los cables asociados se han unido. El ensamblaje de la base del brazo incluye el mecanismo de ajuste de la carga, las interfaces para el conjunto de cilindro / del volante, montaje del brazo principal, cable polea y el conjunto del bastidor / plataforma. Dos células de carga, un sensor de rotación, y los cables asociados están instalados. Las dos células de carga miden las cargas reactivas durante los ejercicios basados en el cable. La *Correa / Polea* proporciona la capacidad de realizar ejercicios basados en cable. Se conecta el cable de ejercicio para el conjunto de la base del brazo para proporcionar la carga de los ejercicios. El *Kit de Montaje* de banco es un accesorio que se monta en la plataforma y proporciona una superficie para realizar press de hombros, press de banca y otros ejercicios sentado o acostado. Se dobla y se guarda cuando no está en uso. El *Block Heel* es un accesorio que se monta en la plataforma y permite la capacidad para realizar ejercicios de levantamiento de talón. Está retirado y guardado cuando no está en uso. El ARED funcionará en los siguientes modos: La resistencia está generada por el movimiento de los pistones dentro del vacío de los cilindros. Los vástagos de los pistones están unidos a un conjunto de la base del brazo, que actúa como un brazo de palanca cuando se mueve el conjunto principal del

brazo. Además, el ARED está equipado con un segundo mecanismo de resistencia. Este mecanismo es un conjunto de volante de inercia que gira a medida que el conjunto de la base del brazo se mueve. Esta función proporciona una carga de inercia que, cuando se mueve, imita la carga inercial de un peso libre. La carga resistiva puede modificarse girando un mango de ajuste de la carga que se mueve al punto de los vástagos del pistón adjunto, cambiando de este modo la longitud de la palanca brazo. La palanca es capaz de proporcionar cargas van de 0 a 600 libras. El ARED puede ser configurado para proporcionar ejercicios utilizando la barra de la elevación o el cable de ejercicio. Con el cable, las cargas se limitan a un máximo de 150 libras. Una característica importante del ARED es el sistema de instrumentación. Este sistema incluye sensores de fuerza triaxiales situados en la plataforma de ejercicio que son capaces de registrar la fuerza en sus tres dimensiones. Además, se cargan sensores en el brazo de elevación principal y en el conjunto de la base del brazo medir fuerzas unidireccionales. El conjunto de la base del brazo también tiene sensores de rotación que registran el rango de movimiento del brazo. Durante el vuelo, los datos de fuerza son enviados a la Caja de Instrumentación del ARED (AIB) y se registra utilizando la computadora personal ARED (PC). Este equipo tendrá una interfaz de usuario que permite que las prescripciones de ejercicio se envíen desde el Centro de Control de Misión (MCC) en el Johnson Space Center (JSC) a la PC del ARED. La prescripción de ejercicio se cargará automáticamente en un perfil individual de los miembros de la tripulación. Se accederá al perfil durante las sesiones de ejercicio. Durante el ejercicio, la carga y el número de repeticiones se pueden grabar simultáneamente y se muestran en la tablet PC. En la ISS, los datos registrados se transfieren

automáticamente a un servidor en la estación, y luego bajan al Centro de Control de Misión.

Cinta de correr con sistema de estabilización y aislamiento de vibraciones (TVIS).

Descripción técnica de la TVIS según la NASA.

La cinta de correr con el Sistema de Estabilización de aislamiento de vibraciones, comúnmente abreviado como TVIS, es una cinta de correr a bordo de la Estación Espacial Internacional y está diseñada para permitir a los astronautas correr sin hacer vibrar los delicados experimentos científicos de micro-gravedad en los laboratorios adyacentes. (¶1)



Figura 24. TVIS en el espacio.

Fuente: collectspace (NASA)

Para evitar algunos de los efectos asociados a la ingravidez, una cinta de correr con el aislamiento de las vibraciones y la estabilización diseñado para la Estación Espacial Internacional (ISS) se evaluó por primera vez durante la misión STS-81 . Tres miembros de la tripulación corrieron y caminaron en el dispositivo, que

flota libremente en micro-gravedad experimentando durante la órbita. Para la mayoría de los estudiados durante más de 2 horas de locomoción, la cinta funcionaba bien, y las vibraciones transmitidas al vehículo estaban dentro de los límites de asignación a la micro-gravedad que se definen para la ISS . Hubo dificultades en el sistema de cinta y el arnés lo cual se estudio después de este primer vuelo, lo que finalmente llevó al desarrollo del modelo Colbert. Uno de los objetivos del diseño de la cinta de correr es el de ofrecer la posibilidad de generar 1 g para las cargas en las extremidades inferiores, preservando el medio ambiente de micro-gravedad de la ISS para la seguridad estructural [...] (¶8)

Las cintas están destinadas a ayudar a los astronautas a estar en forma y a combatir la pérdida de masa ósea (osteopenia vuelo espacial) y el deterioro muscular que de una u otra manera viene con los viajes espaciales. Los astronautas utilizan cables de sujeción que van desde el arnés a la cinta de correr para mantenerse en contacto con el equipo, mientras están en micro-gravedad . (¶9)



Figura 25. Astronauta entrenando en la TVIS

Fuente: Off and no longer running: Space station's first treadmill to be jettisoned with trash. Collect space (NASA)

Ciclo-ergómetro con sistema de aislamiento de vibraciones (CEVIS).

El ciclo-ergómetro básicamente es una bicicleta fija que se ha utilizado en muchos de los programas espaciales, tanto norteamericanos como soviéticos. Los modelos de esta bicicleta se han evolucionado con el paso del tiempo.

El equipo de la Compañía Aeroespacial Danés (Danish Aerospace Company), creadora del CEVIS, se basa en muchos años de investigación y desarrollo especializado. Danish Aerospace Company desarrolla, integra y aplica las tecnologías médicas establecidas para los desafíos, las funciones y las diferentes condiciones de microgravedad.

Esta misma compañía creó el CEVIS. Veamos algo de historia y sus datos técnicos:

La primera unidad CEVIS se lanzó a la ISS el transbordador espacial Discovery STS-102 en 2001[...]. [...] La unidad CEVIS inicial fue sustituida en órbita en 2006, cuando un nuevo se lanzó el transbordador espacial Discovery STS-126 y el antiguo se sustituyó. En el 2007 se puso en marcha otra unidad en el Endeavour STS-118. Un nuevo panel de control modernizado para CEVIS fue lanzado en 2009 en el Discovery STS-119.

La misma compañía describe los datos técnicos del CEVIS:

Su Desarrollo comenzó desde el 2000 hasta la actualidad. Su masa es 26,8 kg. Los pedales, cuando se gira, manejar un volante o corona a través de un conjunto de engranajes. La fricción y/o resistencia se aplica a la rueda por una banda de frenado que se aprieta mediante un tornillo de bola de resorte en la punta que es accionado por un motor paso a paso. La retroalimentación del sensor del par de carga del haz permite que el motor paso a paso para mantenga una fricción y/o

resistencia fija. La pantalla del panel de control proporciona al sujeto una interfaz con el sistema electrónico del control del ergómetro. El panel de control y visualización consiste en un ordenador único e integrado a bordo con cuatro discos duros y memoria RAM.

La Nasa describe así al Ciclo-ergómetro con aislamiento de vibraciones y sistema de estabilización (CEVIS):

- El Ciclo-ergómetro con aislamiento de vibraciones y sistema de estabilización (CEVIS), es esencialmente una bicicleta reclinada, proporciona ejercicio aeróbico y pretende ser una contramedida para los efectos fisiológicos nocivos de la exposición ante la micro-gravedad que se esperan durante las estancias de la ISS.
- El CEVIS se utiliza como parte de la rutina de ejercicio semanal miembros de la tripulación.
- El CEVIS está diseñado para su uso como un componente del Sistema de Personal de Salud (CHeCS) y el Centro de investigación Humana (HRF) en la ISS.
- El CEVIS también tiene la capacidad de apoyar las actividades de la ciencia, la ISS antes de realizar actividades extra-vehiculares (EVA), evaluaciones periódicas de aptitud física (PFE), y pre-evaluaciones de aterrizaje de fitness.

El sistema CEVIS está diseñado para su uso como un componente del Sistema de Personal de Salud y el Centro de investigación Humana en la ISS. El CEVIS proporciona un acondicionamiento aeróbico y cardiovascular a través de actividades

ciclistas en la ISS. El CEVIS también tiene la capacidad de soportar en la ISS experimentos científicos, pre-respiraciones de EVA, PFE, y pre-evaluaciones de aterrizaje de fitness. El CEVIS es operado en los Estados Unidos por el módulo de laboratorio (LAB EE.UU.) en la ISS y el uso depende de la preferencia de ejercicio de los miembros de la tripulación y el uso semanal variaba de 2-7 veces durante 30-90 minutos por sesión por miembro de la tripulación.(¶3)

El CEVIS es una versión modificada del sistema inercial con aislamiento y estabilización de vibraciones (IVIS) con la principal diferencia en la adición de un sistema de control electrónico. El CEVIS es controlado por ordenador y mantiene una carga de trabajo muy exacto independiente de la velocidad de pedaleo del miembro de la tripulación. [...]. La carga de trabajo deseada para hacer ejercicio es controlada en el rango de 25 a 350 W, en incrementos de 1 W y como objetivo de pedaleo real a velocidades de 30 a 120 rpm. (¶4)



Figura 26. CEVIS funcionando en la Estación Espacial Internacional

Fuente: Off and no longer running: Space station's first treadmill to be jettisoned with trash. Collect space (NASA)

Para continuar con la descripción de la maquinaria utilizada en el espacio para realizar ejercicio seguiremos con el MARES y el FWED que son las más nuevas y presentan algunas ventajas con respecto a las anteriores.

Sistema de ejercicio e investigación de atrofia muscular (MARES).

El MARES es una maquina de ejercicio e investigación de la atrofia muscular. La empresa NTE Healthcare ⁵¹ define a MARES y describe sus objetivos:

MARES (Muscle Athrophy Research and Exercise System) es una instalación de la Agencia Espacial Europea (ESA) para la investigación de los efectos que provoca la ingravidez en los músculos del ser humano. Este sistema está integrado en el módulo Columbus de la Estación Espacial Internacional (ISS) y forma parte del laboratorio espacial de la NASA, Human Research Facility.

El sistema permite investigar la atrofia inducida en grupos musculares tanto de las articulaciones aisladas de tronco y miembros como del conjunto de toda una extremidad. Para ello, aplica un estímulo programable en velocidad o en par/fuerza a once grupos musculares diferentes del cuerpo humano, para medir posteriormente la respuesta de par/fuerza y velocidad del sujeto.

Los principales objetivos del sistema MARES son:

- Llevar a cabo investigación en fisiología músculo-esquelética, biomecánica, neuromuscular y neurológica.

⁵¹ NTE-SENER, es contratista principal de MARES y responsable de la gestión del proyecto, diseño global del sistema, de todas las electrónicas de control, de potencia y de supervisión, y de las partes mecánicas y estructurales, así como del software

- Estudiar el efecto de la ausencia de gravedad en el cuerpo humano.
- Evaluar el resultado de las medidas aplicadas para contrarrestar dicho efecto.
- Comprobar la efectividad de los protocolos de ejercicios.

En tanto la NASA nos da precisiones más exactas acerca del funcionamiento del MARES:

El software MARES está diseñado para guiar claramente al sujeto / operador a través de todos los pasos con instrucciones personalizadas, incluyendo textos, gráficos e indicaciones. Es completamente programable, que permite al usuario configurar movimientos complejos mediante la selección de un conjunto predefinido de algoritmos de control básicos para el motor, conocido como unidades básicas de movimiento (UBM), y la construcción de una secuencia de pasos de ejercicio o rutinas.

Hay una UBM para cada modo de contracción muscular, incluyendo: isométrica (contracción muscular en una longitud fija, es decir, sin movimiento), isotónica concéntrica (músculo se acorta cuando se contrae en un par constante), isocinéticos concéntricos (músculo se acorta cuando se contrae pero a una velocidad constante), isotónica e isocinética excéntrica (músculo extendido). Además, hay once UBM más utilizados para apoyar configuraciones experimentales más sofisticadas, incluyendo: resorte, la fricción, el momento de inercia adicional o masa, control de posición, control de velocidad, control de par / fuerza, control de potencia, elementos físicos, extendido de par o control de la fuerza y de liberación rápida.

Las distintas UBM se pueden combinar con perfiles del MARES distintas para crear movimientos complejos y para simular rutinas comunes de ejercicios

utilizados en la Tierra. Estos perfiles se pueden desarrollar en el suelo por los científicos colaboradores y encargados de operaciones médicas [...]



Figura 27. MARES.

Fuente: Muscle Atrophy Research and Exercise System (MARES). NTE healthcare

Dispositivo de ejercicio de volante (FWED).

El dispositivo de ejercicio “Volante de inercia” en su traducción al español, es similar a una máquina de remo. La Agencia Espacial Europea lo describe de la siguiente forma:

El dispositivo de ejercicio Volante (FWED) es un dispositivo que funciona en ausencia de gravedad, proporciona los ejercicios de resistencia que actúa como contramedida ante la atrofia muscular, la pérdida de masa ósea y el deterioro de la función muscular en los seres humanos, que se desarrollan en respuesta a los vuelos espaciales de larga duración. (¶1)

El FWED es un sistema de entrenamiento de fuerza que utiliza un volante giratorio que sustituye a las placas de pesas y otros medios de los dispositivos de entrenamiento de resistencia que se basan en la gravedad. (¶2)

La resistencia es proporcionada por la hilatura del volante y se desenrollada alrededor del eje fijo del volante de inercia. Una acción muscular concéntrica supera la inercia del volante y produce la aceleración de la misma. Una acción muscular excéntrica posterior está obligada a desacelerar. (¶3)

Mientras más sea la fuerza utilizada para acelerar la rueda volante más fuerza se requiere para decelerar. (¶4)

Su resistencia variable ofrece un potencial de formación ilimitado a cualquier usuario con prácticamente ningún límite para la cantidad de fuerza o energía que puede ser producida. El FWED proporcionará un aumento de la carga durante la contracción excéntrica (es decir, sobrecarga excéntrica), que se ha demostrado que es un estímulo muy potente, dando la hipertrofia muscular y aumento de la fuerza. (¶5)



Figura 28. Flywheel Exercise Device (FWED)

Fuente: ESA. Human spaceflight research, erasmus center (2009)

Algunos de los ejercicios que se pueden realizar en el FWED: Press de piernas, levantamiento de talón, extensión de espalda, remo sentado, remo vertical, levantamiento lateral de hombros, curl de bíceps, extensión de tríceps.



Fig. 29. Astronauta ejercitando en el FWED.

Fuente: European Space Agency. Space in images (2009)

Periodización del entrenamiento

Los astronautas llegan a pasar largos periodos de tiempo en el espacio por lo cual el proceso de entrenamiento necesita de una rigurosa planificación. Al respecto Mark Guilliams un entrenador de la NASA, nos dice lo siguiente acerca de la periodización del entrenamiento en estas condiciones.

El concepto de periodización es muy importante en el fitness general y en el enfoque de acondicionamiento en la NASA. (§21)

Si se ve a la periodización en términos de trabajo con un atleta, por ejemplo, está será lineal, incluyendo ejercicios comenzando con 12 repeticiones, luego 8, 6 y 4. Se prepara a los astronautas reduciendo la cantidad de volumen que están haciendo pero incrementando la intensidad. (§22)

El régimen de entrenamiento para preparar a los astronautas es similar al de los atletas preparándose para una temporada, incluyendo una buena mezcla de entrenamiento de fuerza y entrenamiento aeróbico, como también ejercicios funcionales. (§5)

Lograr que los astronautas tomen confianza con los ejercicios durante el vuelo es un desafío, especialmente trabajar con gente que viene de orígenes diversos y diferentes, con distintos niveles de experiencia en fitness y entrenamiento de fuerza. (§7)

El promedio de edad de los astronautas es de 40 años, y alguno de ellos nunca hizo este tipo de cosas en su vida. En algunas instancias se le han enseñado a los astronautas a hacer cuclillas y levantamiento de pesas por 1ra vez. (§8)

A través de los años los protocolos de actividad física en el espacio han experimentado una gran evolución. Históricamente la actividad física desarrollada en la ISS (International Space Station) se desarrollaba sobre los siguientes ítems.

Planificación histórica en la ISS

-2,5 hrs por día, 6 días por semana

- Ejercicio de resistencia:

.IRED →Predominan las altas repeticiones y pesos bajos

- Ejercicio aeróbico:

-Cinta de correr y ciclo-ergómetro →30 minutos al 70 % de la F.C máxima. Y algún que otro trabajo intervalado.

A continuación y a modo introductorio se detallan dos modelos de periodicidad del entrenamiento. Este modelo de planificación del ejercicio, se planifico para 30 días de vuelo espacial. No figura autor, ni a la agencia espacial a la que pertenece. Por el tipo de maquinaria que se detalla cuenta con algunos años de antigüedad y sin duda es uno de los

primeros modelos en donde el entrenamiento de las capacidades condicionales comienza a profundizarse más.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Semana 1	TM 20m 8MPH LBNP 3x20min. caminata	IDIR - MRED Tren inferior 3x10 reps 2 min de pausa 10 RM, 265 lbs leg press •LBNP 3x20min caminata	CE 30 min a 60 rpm 85% max HR LBNP 3x20min 2marcha 1trote a 6mph	IDIR,MRED isométrico 15x3seg Máx. 10s de pausa LBNP 3x20min De pie	TM intervalos 6x400 9mph 4min de pausa LBNP 3x20min marcha	MRED tren superior 3x10 reps 2 min de pausa 10 r.m 170 lbs. banco LBNP 3x20min marcha	LBNP 3x20min Marcha 4h EVA
Semana 2	TM 30m 8MPH (7,5min x milla) LBNP 3x20min. caminata	IDIR - MRED Tren inferior 3x10 reps 2 min de pausa 10RM, 265 lbs. press de piernas •LBNP 3x20min caminata	CE 30 min a 60 rpm 85% max HR LBNP 3x20min 2 caminata 1 trote a 6mph	IDIR,MRED Isométrico 1min20%max 1min pausa(a fallo) LBNP 3x20min De pie	TM intervalos 6x400 9.5mph 4min de pausa(trot e por 95") LBNP 3x20min marcha	MRED tren superior 3x10 reps 2 min de pausa 10 r.m 170 lbs. banco LBNP 3x20min marcha	LBNP 3x20min Marcha 4h EVA
Semana 3	TM 35m 8MPH (7,5min x milla) LBNP 3x20min. caminata	IDIR - MRED Tren inferior 3x8 reps 2 min de pausa 8 RM, 280 lbs. press de piernas •LBNP 3x20min caminata	CE 35 min a 60 rpm 85% max HR LBNP 3x20min 2caminata 1 trote a 6mph	IDIR,MRED isométrico 15x5seg. Máx. 10s de pausa LBNP 3x20min De pie	TM intervalos 6x400 10mph 4min de pausa(trot e por 90") LBNP 3x20min caminata	MRED tren superior 3x8 reps 2 min de pausa 8 r.m 180 lbs. banco LBNP 3x20min marcha	LBNP 3x20min Marcha 4h EVA
Semana 4	TM 35m 8MPH (7,5min x milla) LBNP 4x20min. caminata	IDIR - MRED Torso y m. superiores 3x8 reps 2 min de pausa 8 RM, 180 lbs. banco •LBNP 4x20min marcha	CE 30 min a 60 rpm 85% max HR LBNP 4x20min 3marcha 1 trote a 6mph	IDIR,MRED Isométrico 1min20%max 1min pausa(a fallo) LBNP 6x20min 3 de caminata, 3 resistencia	LBNP 6x20min 1xrun8mp h 1xjog6mp h 1xcaminar 3xresisten cia	MRED Lower body3x3 reps 2 min de pausa 3 r.m 325 lbs. banco LBNP 6x20min 3decaminata 3resistencia	LBNP 6x20min 3de caminata 3 resistenci a

Figura 30. Planificación del entrenamiento para 30 días de vuelo espacial.

Fuente: Exercise Program to prevent cardiovascular and musculoskeletal. Deconditioning during a 30 day spaceflight.

Nota: cinta de correr(TM), ciclo-ergómetro (CE), instrumento dinámico inter-limb de resistencia (IDIR), aparato múltiple de ejercicio de resistencia (MRED), aparato de presión negativa (LBNP)

A continuación, veremos el programa de entrenamiento del Centro Espacial Lyndon B. Johnson de Houston, Texas. Corresponde al año 2000-2001 aproximadamente. En él se pueden observar el desarrollo de la tecnología en la maquinaria utilizada y la aplicación de principios específicos del entrenamiento. Sus puntos más relevantes son:

A) “Ejercicio como contramedida”.

-La cinta de correr (TVIS)

•Entrenamiento ambulatorio (patrón neuromuscular)

*Ejercicio de resistencia de los músculos posturales

*Ejercicio aeróbico

Carga esquelética de alto impacto axial (mantenimiento óseo)

-El ciclo-ergómetro (CEVIS)

Contramedida de ejercicio aeróbico/anaeróbico

Mantenimiento de la resistencia muscular del tren inferior

Ejercicio de entrenamiento para el brazo para actividades extra-vehiculares (EVA)

Contramedida del ejercicio de pre-respiración (2 horas)

-El aparato de musculación (IRED)

B) La prescripción del ejercicio en vuelo:

Acondicionamiento aeróbico.

-Son dos días por semana, uno en TVIS y otro en CVIS, una hora de duración por sesión.

-Entrenamiento intervalado.

-Son cuatro días por semana, tres en TVIS y uno en CEVIS, hay tres protocolos.

-Una hora de duración por sesión de entrenamiento.

Entrenamiento resistivo IRED (musculación)

Son seis días a la semana, con seis protocolos distintos, una hora por sesión.

Planificación del ejercicio de resistencia en el IRED.

- 6 semanas de **Hipertrofia** a 12-15 Rep. / 2-3 series a fallo

- 4 semanas de **fuerza resistencia** a 8-10 Rep. / 2-3 series

- 4 semanas de **fuerza** a 6-8 Rep. / 2-3 series

- 2 semanas de **potencia** a 4-6 Rep. / 2-3 series.

La distribución de ejercicios día por día se describe en este microciclo:

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Levantamiento muerto	Press de hombros	Sentadillas	Curl de bíceps	Levantamiento muerto	Levantamiento de hombros
Remo inclinado invertido	Levantamientos posteriores	Levantamiento de talones	Patada de tríceps	Remo inclinado invertido	Levantamientos laterales
Levantamiento muerto a piernas rectas	Levantamientos frontales	Levantamiento muerto a piernas rectas	Remo vertical	Levantamiento muerto a piernas rectas	Levantamiento de pecho
Sentadillas	Aducción de cadera	Levantamiento muerto	Flexión de cadera	Sentadillas	Aducción de cadera
Levantamiento de talones	Abducción de cadera	Remo inclinado invertido	Extensión de cadera	Levantamiento de talones	Abducción de cadera

Figura 31. Microciclo de ejercicios de fuerza en el IRED.

Fuente: Summary of International Space Station Exercise Countermeasures (2001).

La programación del ejercicio en vuelo ha sido abordada por las distintas agencias espaciales en estos últimos años. Con la construcción de la ISS los criterios de programación del ejercicio cada vez se unifican más entre los distintos países. En el 2010 el ICM (International Countermeasures Working Group) y los países que la integran desarrollaron un taller de contramedidas junto con la International Society of Gravitational Physiology (ISGP). A continuación se exponen los protocolos de ejercicio expuestos en ese taller por parte de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), la CSA (Canadian Space Agency), la FKA (Russian Federal Space Agency), la ESA (European Space Agency), y la JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency).

Estos son los programas de ejercicio que se expusieron en el año 2010:

Protocolo de los EE.UU. (NASA).

El centro espacial Johnson de los EE.UU en sus operaciones de contramedidas describe objetivos y fases del entrenamiento en vuelo.

Ejercicios en vuelo.

- Concepto global: Adaptar el cuerpo al ambiente circundante, la variación del programa es clave para mitigar las adaptaciones a la gravedad 0, probablemente el cuerpo no pueda percibir el estímulo ambiental, más probable a preservar funcionalidad.
- Objetivo: Minimizar la pérdida de masa muscular, hueso y condición aeróbica, proteger performance y funcionalidad y maximizar la utilización del hardware.

- Programa diario: 2.5 horas de ejercicio por día, 6 días por semana, 1.5 horas de resistencia muscular, 1 hora de ejercicio aeróbico. La Mayoría de ejercicios 7 días por semana de ejercicio en vuelo.

- En el ARED se pretende:

Variación en las cargas: • Tren inferior - duro (4x6), suave (4x12), Media (4x8).

- Tren superior - todo 3x10

Variación de ejercicios: 3 ejercicios distintos por día en las rutinas.

- Ejercicios primarios para el tren inferior/triple extensión de movimientos.

Variar o cambiar Orden: rotar cada rutina por día y así conseguir rutinas intensas, suaves y medias cada día.

Variar o cambiar las técnicas de ejercicio: Usar una variedad de sentadillas, peso muerto, técnicas y postura.

2 macrociclos distintos; % de carga levantada se incrementa semana a semana

Cargas determinadas; usadas en pre-vuelo ARED sesiones de entrenamiento

Tren inferior: Calcular 6, 8 y 12 RM utilizando 10 RM

Agregar 75% del peso corporal a toda sentadilla y elevación de talón ejercicio

Próximo paso: Evaluar alta velocidad de ejercicios.

Los ejercicios desarrollados en el ARED se detallan en intensidad, series y repeticiones.

%	Alta	Baja	media	Alta	Baja	media		Session 1
70	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Sentadilla
75	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Levantamiento de talón
80	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Peso muerto
85	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Peso muerto rumano
90	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Press de hombros
95	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Remo de pie inclinado
100	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		
105	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Session 2
110	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Sentadilla sumo
115	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Levantamiento de talón
120	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Peso muerto
125	4x6	4x12	4x8	4x6	4x12	4x8		Encogimiento de hombros
								Bench
70	1	2	3	2	3	1		Triceps
75	3	1	2	1	2	3		
80	2	3	1	3	1	2		Session 3
85	1	2	3	2	3	1		Sentadilla a 1 pierna
90	3	1	2	1	2	3		Peso muerto sumo
95	2	3	1	3	1	2		Peso muerto rumano
100	1	2	3	2	3	1		Remo de pie hombros
105	3	1	2	1	2	3		Curl de bicep
110	2	3	1	3	1	2		Remo con mancuerna en banco(dorsales)
115	1	2	3	2	3	1		
120	3	1	2	1	2	3		
125	2	3	1	3	1	2		

Figura 32. Prescripción del ejercicio de fuerza en el ARED.

Fuente: U.S. Countermeasure Operations. Jim Loehr.NASA.

- En el CEVIS y T2 las normas que rigen la prescripción son:
 - intento a acomodar a tripulación preferencias:
 - Recomendado 3/3
 - Fin de la misión 2/4.
 - Para CEVIS y T2 se prescribe steady- state y varios protocolos de intervalos
 - Dificultad incrementar como incrementar progresos:
 - CEVIS – Watts
 - T2 – velocidad/carga
 - Recomendado a mínimamente 5 min de caminata/carrera pasiva como entrada en calor
 - Treadmill carga:
 - comenzar al 50-60% del peso del cuerpo basado en pre-vuelo.
 - Incremento de carga de principio a fin en la misión.
 - CEVIS protocolos basados en pre-vuelo, test de VO₂ máximo en bicicleta

Modelo de protocolo para el CEVIS.

Protocolo simple de viaje					
Lapso de tiempo	Tiempo de etapa	% VO ₂	VO ₂ (L/min)	Watts	Frecuencia cardíaca
3	3	55	1.90	104	113
28	25	80	2.76	172	137
31	3	55	1.90	104	113

Figura 33. Prescripción del ejercicio en el CEVIS.

Fuente: U.S. Countermeasure Operations. Jim Loehr. NASA.

CEVIS. Intervalo de 2 minutos.

Lapso de tiempo	Tiempo de etapa	% VO2	VO2(L/min)	Watts	Frecuencia cardíaca
5	5	55	1.90	104	113
7	2	80	2.76	172	137
9	2	60	2.07	118	118
11	2	85	2.94	185	142
13	2	60	2.07	118	118
15	2	85	2.94	185	142
17	2	60	2.07	118	118
19	2	85	2.94	185	142
21	2	60	2.07	118	118
23	2	85	2.94	185	142
25	2	60	2.07	118	118
27	2	85	2.94	185	142
29	2	60	2.07	118	118
31	2	80	2.76	172	137
36	5	55	1.90	104	113

Figura 34. Prescripción del ejercicio intervalado en el CEVIS

Fuente: U.S. Countermeasure Operations. Jim Loehr. NASA.

Treadmill.T2.

Protocolo de 2 min.	etapa #	tiempo (min) S	velocidad
	1	5	6
	2	2	7
	3	2	6
	4	2	8
	5	2	6
	6	2	9
	7	2	6
	8	2	9
	9	2	6
	10	2	8
	11	2	6
	12	2	7
	13	5	6

Figura 35. Prescripción del ejercicio intervalado en el TVIS.

Fuente: U.S. Countermeasure Operations. Jim Loehr. NASA.

Protocolo de 5 min.	etapa #	tiempo (min)	velocidad
	1	5	6
	2	5	7
	3	5	8
	4	5	8
	5	5	7
	6	5	6

Figura 36. Prescripción del ejercicio en el TVIS. Protocolo intervalado.

Fuente: U.S. Countermeasure Operations. Jim Loehr. NASA.

Protocolo de la CSA (Canadian Space Agency).

Natalie Hirsch (2010) describe la prescripción del ejercicio en vuelo. Desde el lanzamiento al aterrizaje los objetivos son:

- A) Mitigar y erradicar los efectos de micro-gravedad, garantizar la operación efectiva y reducción en el tiempo requerido para el reacondicionamiento de post-vuelo
- B) Reducir la atrofia muscular, pérdida de masa ósea, y pérdida de condición cardiovascular y neurosensitiva.

La agencia espacial canadiense hace una prescripción del entrenamiento de fuerza y aeróbico. Lo detallan de la siguiente manera:

Entrenamiento cardiovascular y de fuerza

– 6 días por semana+ 1 día de recuperación activa. Resistencia muscular: 1 hora por día. Entrenamiento cardiovascular: 30-45 minutos por día

Resistencia muscular:

Fase 1→Aclimatación.

3 entrenamientos. Cada entrenamiento se compone de: a) Entrada en calor. Series: 1 x 15 reps + 1 x 8 reps. Trabajo central de 2-3 series x 10 repeticiones. Énfasis en miembros inferiores (sentadillas, peso muerto, levantamiento de talón)

Fase 2→Entrenamiento específico.

3 entrenamientos y 3 variaciones por repeticiones y peso. Ciclo de 9 días. Entrada en calor series: 1 x 8 repeticiones Trabajo central, 4 series de 6 repeticiones por 3 series x 8 a 12 reps. Cada entrenamiento compuesto de 6 a 7 ejercicios. Énfasis en el tren inferior. Aumento de peso 5% para todo el tercer ciclo, en caso de los primeros dos ciclos completos cual prescriptos.

Entrenamiento cardiovascular:

El programa de entrenamiento cardiovascular señala varios ítems a tener en cuenta.

- Trabajo aeróbico manteniendo por encima del 75% del valor de pre-vuelo. Ciclo ergómetro (CEVIS)
- Serie de individualización y protocolos desarrollados por NASA Exercise Physiology Lab
- Protocolo steady -state (20 min al 80% VO₂max) y protocolos intervalados (2 minutos etapas, 40 al 50% VO₂max recuperación; estímulo etapas alcance desde 60-90% VO₂max). Treadmill (TVIS & T2)
- Cargas altas como sea factible.

- 75-90% F.C máx. (Fundamental).
- De mínimo un protocolo de intervalo por semana.
- Caminata pasiva al final de la sesión.
- Ciclo- ergómetro y Treadmill datos recibidos semanalmente.
- Evaluaciones periódicas de fitness
- Proporcionar recomendaciones como necesarias.

Protocolo ruso (FKA).

Los autores Kozlovskaya & Grigoriev (2004) en un trabajo de investigación describen muy bien el sistema de contramedidas ruso utilizado en la estación espacial internacional:

El sistema de contramedidas utilizadas por los cosmonautas rusos en vuelos espaciales a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS) se basó en el desarrollado y pruebas en vuelo a bordo de estaciones espaciales rusas. Se incluye como componentes principales: métodos físicos destinados a mantener la distribución de fluidos en niveles cercanos a los observados en la Tierra, los ejercicios físicos y trajes de carga destinados a cargar el músculo esquelético y el sistema cardiovascular, las medidas que impiden la pérdida de fluidos, principalmente agua -sal aditivos que ayudan a mantener la tolerancia ortostática y la resistencia a las sobrecargas gravitacionales durante el regreso a la Tierra, una dieta bien balanceada y los medicamentos dirigidos a corregir las posibles reacciones negativas del cuerpo a la ingravidez.

En cuanto a la planificación del entrenamiento el sistema de contramedidas ruso propone un microciclo de cuatro días con las siguientes características.

Día	objetivo	Repeticiones	Intensidad de trabajo	Energía expedita
1	Mantenimiento de alta velocidad, características del musculo y de tolerancia orto-estática.	Baja	Sub-máxima y máxima	380-420 k/Cal (1591-1758 k/J)
2	Mantenimiento de fuerza-velocidad propiedad del musculo esquelético	intermedia	intermedia	450-500 k/Cal (1884-2093 k/J)
3	Mantenimiento de Resistencia propiedad y de coordinación de movimientos	alta	pequeña	550-600 k/Cal (2303-2512 k/J)
4	Recuperación active(ejercicios a elección)	pequeña	A gusto	Alrededor 150 k/Cal (628 kJ)

Figura 37. Microciclo de 4 días de entrenamiento de la agencia espacial rusa.

Fuente: Russian system of countermeasures on ISS. Kozlovskaya & Yarmanova (2010)

Para las misiones espaciales de larga duración en la ISS el programa ruso establece cinco etapas en el uso de contramedidas.

- 1.-**Principio de la misión:** (días de vuelo 1-10): puños oclusivos ($p < 50$ mmHg, 20-30 minutos) y entrenamiento físico a 50% de la carga prescripta
- 2.-**Periodo de estabilización:** 1-hr. sesión de entrenamiento al día con el uso de cinta de correr, ciclo-ergómetro, expanders, carga de fuerza con aparato de electromioestimulación y uso de traje "Penguin".
- 3.-**Pre-EVA:** mismas sesiones de entrenamiento con el énfasis en el pedaleo manual.

4.-**Fin de la misión:** (-30 últimos días): dos sesiones de entrenamiento en Treadmill un día; 2-4 preliminar y dos final (principal) LBNP sesiones; suplementos de agua y sal (0,9% NaCl, 18-20 mL por kilogramo de masa corporal, 3-4 etapas en el final de 12-20 horas de la misión).

5.-**Salida de órbita y días iniciales de readaptación:** Uso de trajes anti-G “Centaur”. Performance de PhT por cosmonautas rusos en vuelo espacial en la ISS.

Protocolo de la ESA.

La European Space Agency propone objetivos y requerimientos del ejercicio como contramedida. Nora Petersen (2010) especialista del ejercicio los explica así:

Mantener a la tripulación con salud, bienestar y rendimiento (antes, durante y después del vuelo). Minimizar impactos los cuales pueden afectar los sistemas de la estación, la seguridad general o aparatos experimentales. Adaptación a la ISS y a la micro-gravedad, a los requerimientos específicos y maximizar los resultados (resultados, experiencia, sistemas, hardware, y estrategias). Explorar nuevas y mejores posibilidades para optimizar y afianzar las contramedidas para misiones de larga duración.

Durante la misión en vuelo el entrenamiento se divide en tres fases, adaptación (14-30 días), Fase principal (arriba de 120 días) y preparación para el retorno (14-30 días).

La agencia espacial europea publicó protocolos de ejercicio del programa “Columbus” (2008) y del programa “Oasis” (2009) de la ESA. A continuación se detallan cada uno de ellos y las proporciones del tipo de ejercicio dentro de cada una de las fases:

Fase1	lunes	carrera	bici	Fase2	lunes	carrera	bici	Fase3	lunes	carrera	fuerza
	martes	bici	fuerza		martes	bici	fuerza		martes	carrera	carrera
	miércoles	carrera	bici		miércoles	carrera	fuerza		miércoles	carrera	fuerza
	jueves	bici	fuerza		jueves	carrera	bici		jueves	carrera	fuerza
	viernes	carrera	bici		viernes	bici	fuerza		viernes	carrera	carrera
	sábado	bici	fuerza		sábado	carrera	fuerza		sábado	carrera	fuerza
	domingo	carrera	bici		domingo	carrera	bici		domingo	carrera	fuerza

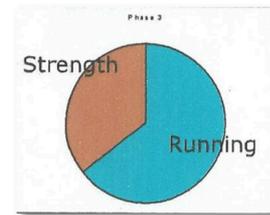


Figura 38. Plan de ejercicios “Columbus” (2008)

Fuente: Countermeasure exercise on ISS -European Concept. Nora Petersen (2010)

Fase1	lunes	fuerza	bici	Fase2	lunes	fuerza	bici	Fase3	lunes	carrera	Fuerza
	martes	carrera	bici		martes	carrera	bici		martes	carrera	Fuerza
	miércoles	fuerza	Bici		miércoles	fuerza	Bici		miércoles	carrera	Fuerza
	jueves	fuerza	bici		jueves	fuerza	bici		jueves	carrera	Fuerza
	viernes	carrera	Bici		viernes	carrera	Bici		viernes	carrera	Fuerza
	sábado	fuerza	bici		sábado	fuerza	bici		sábado	carrera	Fuerza
	domingo	fuerza	bici		domingo	fuerza	bici		domingo	bici	Fuerza

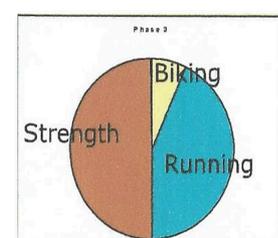
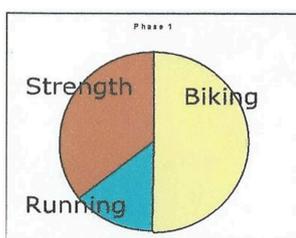


Figura 39. Plan de ejercicios “Oasis” (2009)

Fuente: Countermeasure exercise on ISS -European Concept. Nora Petersen (2010)

Protocolo de ejercicios para astronautas japoneses (JAXA).

El científico y manager Hiroshi Oshima (2010) de la JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) detalla como es el soporte operacional actual de ejercicios para astronautas japoneses:

Programa de entrenamiento en vuelo.

Hardware utilizado: CEVIS, T2 (TVIS) y ARED

Objetivos: Mantener la fuerza física, y prepara la caminata para después del aterrizaje.

Primera fase: aclimatación al ejercicio en micro-gravedad

Segunda fase. : Mantener la fuerza física.

Tercera fase : Preparación para la re-ambulaci3n.

Programa: 6 d3as por semana, 2.5 horas por d3a, Aer3bico (CEVIS y T2) y Resistencia muscular (ARED)

Para el ciclo-erg3metro (CEVIS) la prescripci3n es:

-1hora por tres d3as a la semana.

-Programa

1) Entrenamiento intervalado Greenleaf's

2) PFE protocolo: (25, 50, 75, 25 %Vo₂ m3x.)

3) Tour de la ISS Protocolo

-Objetivo de fuerza.

1) Escala de Borg: 13(algo duro)

2) NTE HR

Para la cinta de correr (TVIS/T2):

1-Una hora por tres días a la semana.

2-Objetivo de fuerza.

a) 60-80%frecuencia cardíaca Max.

b) Escala de Borg: 13

3-Utilización de arnés para carga axial. (60~100 % Del peso corporal)

4-Sistema de aislamiento por vibraciones.

5-Estabilizada por giroscopio

El Entrenamiento de resistencia muscular se basa sobre las siguientes características:

- 1.5 horas x 6días a la semana
- 3 cuerpo M + 3 pierna M entrenamiento 1 solo día
- 10 RM x 1-3 series
- Evitar la lesión muscular

Lunes Jueves	Martes Viernes	Miércoles Sábado
Sentadilla	Peso muerto	Sentadilla postura amplia
Peso muerto rumano	Sentadilla a una pierna	Peso muerto Sumo
Peso muerto sumo tracción alta.	Banco plano	Peso muerto rumano
Levantamiento de talón	levantamiento de talón a una pierna	Remo de pie hombros
Remo de pie inclinado	encogimiento de hombros	Remo con mancuerna (dorsales)
Press de hombros	Triceps	Curl de bíceps

Figura 40. Prescripción semanal del entrenamiento en el ARED

Fuente: Current Exercise Operational Support for Japanese astronauts. Hiroshi Ohshima(2010). JAXA

Teorías de la prescripción del ejercicio en microgravedad

La prescripción del ejercicio en el espacio se fue modificando en función a los avances tecnológicos y a las investigaciones recibidas de los distintos vuelos espaciales. Loenneke, Wilson & Bemben (2012) realizan una revisión de las distintas tendencias de la actividad física en el espacio. Veamos qué es lo que decían los investigadores conforme pasaba el tiempo.

Tipton (1983):

Recomienda ejercicios físicos de alta intensidad, para mejorar tanto el tejido muscular y el tejido óseo. Durante los vuelos de corto plazo (menos de tres semanas), los ejercicios isométricos e isocinéticos deben ser realizados por los músculos antigraavedad. Durante los vuelos de larga duración, la frecuencia de la realización de los ejercicios se debe aumentar, y todos los principales grupos musculares deben ser entrenados. El ejercicio en ciclo-ergómetro fue recomendado para el entrenamiento cardiovascular y ejercicios de rutina sólo se recomienda "para

cumplir con el deseo de movimiento que está presente en la mayoría de los astronautas y cosmonautas".

Greenleaf *et al.* (1989):

Prescribe ejercicios isotónicos e isocinéticos diarios tanto para los brazos y las piernas. Hay que resaltar el desempeño de las diferentes funciones en vuelo de los miembros de la tripulación para dictar los ejercicios. Los pilotos, por ejemplo, deben capacitar sus piernas, mientras que las personas que participan en actividades extra-vehiculares deben capacitar principalmente sus brazos. Además de estos ejercicios de resistencia, 30 minutos al día de ergometría en bicicleta se recomendó, a de 70 a 100 por ciento de la máxima (si se trata de producción de potencia máxima o el consumo de oxígeno no se ha indicado). Estas prescripciones de ejercicio estaban destinadas para 15 a 180 días queda en condiciones de micro-gravedad.

Hargens *et al.* (1989):

La acción muscular excéntrica es importante para la adaptación del músculo y la ausencia casi completa de ejercicio excéntrico en el espacio puede ser un importante contribuyente a la atrofia muscular. El equipo debe ser diseñado para integrar acciones excéntricas en los protocolos de ejercicio para el espacio.

Keller, Strauss & Szpalski (1992):

Para minimizar la pérdida de acondicionamiento musculo-esquelético asociado con el espacio, se sugiere ejercicio muy intenso, que imponen grandes cargas en el sistema músculo-esquelético durante períodos breves, puede ser más eficaz en la

preservación de los huesos y acondicionamiento muscular de actividades de baja intensidad.

Bachl *et al.* (1993):

Propusieron ejercicios concéntricos diarios de los brazos y las piernas, de 60 a 80 por ciento de la contracción voluntaria máxima. Ejercicios y expanders se deben realizar todos los días también, así como veinte minutos de caminar y correr en una caminadora. La prescripción de ejercicio de Bachl y su grupo era para la estación espacial rusa Mir, también está incluido todos los días un período de ocho horas para usar el "traje de pingüino". Una vez por semana, los brazos y las piernas deberán realizar ejercicios máximos, incluyendo las contracciones concéntricas, excéntricas e isométricas. En las semanas previas a las actividades extra-vehiculares o de reingreso, ejercicios adicionales se deben realizar para poder mantener el aumento de las cargas de trabajo que se acompañan.

Edgerton & Roy (1994):

Una combinación de los modos de ejercicio es probable que sea más eficaz en el espacio, con cada tipo de ejercicio se inducen efectos específicos sobre los grupos de músculos específicos e incluso tipos de fibras musculares dentro de un músculo o grupo muscular.

Baldwin (1996):

La combinación de la actividad de la resistencia aeróbica y muscular será necesario para soportar a las diferentes fracciones de proteína en la célula muscular.

Cabina & Criswell (1999):

Ejercer la resistencia muscular junto con la hormona de crecimiento similar a la insulina y del factor de crecimiento-1 son contramedidas eficaces ante la descarga, se necesita más investigación, específicamente en la ausencia de gravedad.

Fitts, Riley, & Widrick (2000):

El programa ideal debe incluir ejercicios isométricos e isotónicos. Los datos en humanos y ratas indican el ejercicio de alta intensidad como la modalidad de elección para la protección de la estructura y la función muscular del miembro.

Macias *et al.* (2005):

La presión negativa del cuerpo en el tren inferior puede proporcionar a los astronautas una contramedida para mantener la estructura y función fisiológica durante el vuelo espacial a largo plazo.

Bajotto & Shimomura (2006):

Incluso la corta duración de los vuelos espaciales puede resultar en una importante atrofia muscular y los cambios en la expresión de la cadena pesada de miosina. La prevención implica acciones de contramedida tales como la carga periódica (ejercicio de resistencia) y los suplementos dietéticos.

Smith & Zwart (2008):

Los protocolos de ejercicio usados hasta la fecha no han tenido éxito en mantener la masa muscular o fuerza durante vuelo espacial. Esto puede estar relacionado con el tiempo disponible para el ejercicio y/o disponibilidad del hardware.

Narici & Boer (2011):

El ejercicio de resistencia es actualmente el método de elección para mitigar o prevenir el negativo efecto de la descarga en el músculo esquelético. Sin embargo,

se ha encontrado la aplicación de gravedad artificial con intensivo (90% de la frecuencia cardíaca máxima) entrenamiento aeróbico intensivo para mantener el tamaño del músculo durante simulada micro-gravedad (reposo en cama).

Nuevos estudios y tendencias para el desarrollo del ejercicio en el espacio

Con el paso del tiempo todo el instrumental utilizado para el desarrollo del ejercicio y las investigaciones de cómo mejorar la prescripción del mismo han avanzado enormemente, pero todavía se pueden encontrar algunas lagunas en el conocimiento de esta temática.

En micro-gravedad se imponen demandas, tanto en los astronautas como en el uso y la construcción de dispositivos de ejercicio. Será de gran importancia que los aparatos para la realización del ejercicio sea pequeño y ligero, sin alimentación de fuente externa, que reproduzca las condiciones de un ambiente de 1G en huesos y músculos, que proporcionen ejercicios relativamente cortos y que los sonidos o vibraciones no alteren la estructura de la nave. (Davis SA, Davis BL.2012)

A continuación se describen algunos de los planteos y posibles soluciones que hasta el momento parecen ser prometedoras. Entre las posibles soluciones más destacadas encontramos: El concepto avanzado de ejercicio (maquinas), nuevos programas de entrenamiento y el uso de gravedad artificial (combinación de centrifugas y ejercicios).

Concepto avanzado de ejercicios.

El concepto avanzado de ejercicios se describe en una publicación de Linda Loerch (2010), manager del Human Research Program Exercise Countermeasures Project. Las máquinas para realizar el mismo requieren de las siguientes condiciones y requisitos:

- Compacto (comparado a ISS US hardware de ejercicio)
- Mínimos medios y recursos (poder, tamaño)
- Multi-función (representa ambos ejercicios aeróbico y de resistencia dentro de un dispositivo)
- Misma capacidad como ISS US hardware de ejercicio (ARED, T2, CEVIS)
- Tecnología de un nivel 6 de ingeniería (modelo sistema / subsistema es decir prototipo demostración en relevantes entornos)
- Seguro, de fácil uso.
- Mayor conducta en aspectos de salud
- Evaluar en tierra, y/o pruebas de vuelo

Los instrumentos nuevos y que están en vías de desarrollo y experimentación son:



Figura 41. Concepto avanzado de ejercicio (Zin Technologies Gas Spring)

Fuente: Candidate Exercise Technologies and Prescriptions. NASA Johnson Space Center Linda Loerch (2010)



Figura 42. Valeo, prototipo de fuerza elástica constante (Fase 1)

Fuente: Candidate Exercise Technologies and Prescriptions. NASA Johnson Space Center Linda Loerch (2010)

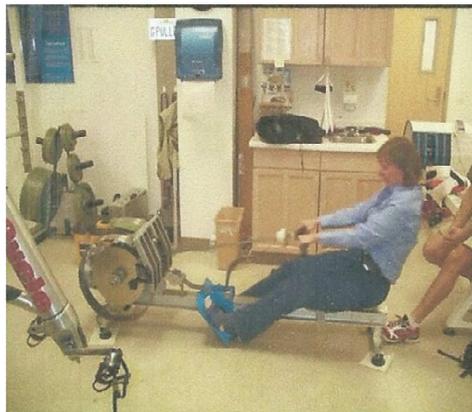


Figura 43. Adams/Tesch próxima generación flywheel (estudio de NSBRI)

Fuente: Candidate Exercise Technologies and Prescriptions. NASA Johnson Space Center Linda Loerch (2010)



Figura 44. Wyle volante de Inercia. Concepto de prueba.

Fuente: Candidate Exercise Technologies and Prescriptions. NASA Johnson Space Center Linda Loerch (2010)



Figura 45. Servomotor Aerodinámico de Automatización Eléctrica based prototype (fase1)

Fuente: Candidate Exercise Technologies and Prescriptions. NASA Johnson Space Center Linda Loerch(2010)

Nuevos programas de ejercicio.

El innovador programa de entrenamiento “SPRINT” se basa principalmente en el predominio de la intensidad por sobre el volumen para minimizar el deterioro físico en los astronautas de la ISS en misiones de larga duración.

La NASA describe así el programa de ejercicios:

Tres días a la semana de entrenamiento de resistencia con el aparato de ejercicios de resistencia Avanzado (ARED) a una intensidad más alta (periodización de entrenamiento de carga superior) protege mejor contra la pérdida de masa del músculo esquelético y su función, y del mismo modo protege la salud ósea en comparación con el ejercicio de resistencia de ARED seis días por semana a una intensidad menor y mayor volumen (tratamiento estándar actual).

Alternando días de entrenamiento de intervalos de alta intensidad con los días de ejercicio aeróbico continuo es más eficaz que el ejercicio aeróbico predominante continuo (tratamiento estándar actual) para el mantenimiento de la función cardiovascular.

La recuperación de la función muscular y VO₂máx (capacidad aeróbica máxima) es más rápido en la resistencia integrada y estudio del entrenamiento aeróbico (Sprint) grupo, seguido por la prescripción anterior estándar (nuevo hardware ejercicio, receta estándar), seguido por miembros de la tripulación que utilizaron el antiguo hardware de ejercicio.

Lori Ploutz-Snyder, autora de un informe aprobado por el Human Research Program resume así el estudio y detalla los objetivos y detalles de la planificación del ejercicio:

Fondo del estudio:

- En Junio y Octubre de 2008 seminarios y talleres identificaron la necesidad de optimizar la prescripción del ejercicio.
- ASCR, ExPC, HRP management, cirujanos de vuelo, operaciones médicas, expertos externos en músculo, hueso y función cardiovascular.

Las Mayores recomendaciones de este programa en particular son:

- Alta intensidad, menos frecuencia en el ejercicio de resistencia.
- Más variedad en los ejercicios de resistencia.
- Alternar días de moderada intensidad continuado con ejercicio aeróbico con intensidad alta de ejercicio aeróbico intervalado.
- Monitoreo en vuelo de la performance del ejercicio usando instrumentos hardware.
- Incluir resultados de las mediciones en documento de la eficacia del programa de ejercicios y la contendencia fisiológica.

En vuelo el programa de ejercicios se caracteriza por:

- Alta intensidad, baja frecuencia y duración.
- Músculo.

– Reposo en cama (Bed-rest) y estudios de descarga demostraron 2-3 días/semana de entrenamiento es suficiente si la contracción durante resistencia casi ejercicio son máxima o casi máxima.

– Intervalos aeróbicos son óptimos para afectar capacidad aeróbica del musculo metabolismo/Resistencia.

• Hueso.

– La evidencia sugiere múltiple diarios sesiones requeridas

– Alta magnitud and frecuencia de tensión/esfuerzo

– Sitio especificidad

• Cardiovascular

– necesidad alta intensidad, mejor logrado con intervalos.

Los ejercicios de este programa detallan intensidad, series repeticiones y más:

Planificación integrada de entrenamiento aeróbico y muscular.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Resistencia	35-60 min		35-60 min		35-60 min		
Aeróbico Intervalado		32 min		32 min		32 min	
Aeróbico Continuo	30 min		30 min		30 min		

Figura 46. Planificación integrada de fuerza y resistencia.

Fuente: Integrated Resistance and Aerobic Training Study- Sprint. Lori Ploutz-Snyder.

Ejercicios de resistencia (ARED)

	Día 1	Día 2	Día 3
	Sentadilla ,press de banco ,peso muerto rumano, remo vertical, levantamiento de talón	Peso muerto, press de hombros, pierna individual Sentadilla, remo inclinado-invertido, levantamiento de talón a pierna simple	Sentadilla frontal, remo inclinado-invertido pierna individual en Extensión de rodilla, Press de banco, levantamiento de talón.
semana			
1	suave	suave	suave
2	suave	suave	suave
3	moderado	suave	duro
4	duro	moderado	suave
5	suave	duro	moderado
6	moderado	suave	duro
7	duro	moderado	suave
8	suave	duro	moderado
9	moderado	suave	duro
10	duro	moderado	suave
11	suave	duro	moderado
12	moderado	suave	duro

Figura 47. Planificación de intensidad y ejercicios en el ARED.

Fuente: Integrated Resistance and Aerobic Training Study- Sprint. Lori Ploutz-Snyder.

•Detalles de las sesiones de ejercicios de resistencia.

Semana 1a 6

	suave	moderado	duro
series	3	3	3
repeticiones	12	8	5
pausa(segundos)	90	120	120
Tiempo total (min.)	35	40	40

Figura 48. Componentes de la carga en las primeras seis semanas.

Fuente: Integrated Resistance and Aerobic Training Study- Sprint. Lori Ploutz-Snyder.

Semana 7 a 12

	suave	moderado	duro
series	3	4	4
repeticiones	10	6	3
pausa(segundos)	90	150	180
Tiempo total (min.)	35	60	40

Figura 49. Componentes de la carga a partir de la séptima semana.

Fuente: Integrated Resistance and Aerobic Training Study- Sprint. Lori Ploutz-Snyder.

El Ejercicio aeróbico intervalado se estructura sobre tres modalidades:

- Short Sprint - 10 minutos de entrada en calor a 50% of frecuencia cardíaca máxima seguido por 7-8 sets de máximo ejercicio por 30 segundos, seguido por 15 segundos de pausa. Incrementar carga luego 9 sets. (Esta variante de intervalo incrementa la función mitocondrial, adaptaciones cardiovasculares periféricas semejantes como enzimas musculares y densidad capilar.)
- 2 minutos - 5 minutos de entrada en calor al 50% VO₂máx., seguido por 6x2 minutos etapas a 70, 80, 90, 100, 90%, 80% VO₂máx. Los primeros 5 etapas son separadas por 2 minutos activos recuperación etapas a 50% VO₂ máx. La etapa final es a 5 min activos recuperando a 40% VO₂máx. (Este intervalo aeróbico mantiene la máxima capacidad aeróbica, similar al protocolo bien tolerado en la ISS)
- 4 minutos - 5 minutos entrada en calor a ~50% frecuencia cardíaca máxima, seguido por intervalos de ejercicio a 90% frecuencia cardíaca máxima. El ejercicio de intervalos puede ser de 4x4 min por vez, con 3 min periodos de recuperación activa. (Esta variable de intervalo produce adaptaciones cardiacas, salida y volumen sistólico)

Uso de gravedad artificial.

El uso de la gravedad artificial combinado con la realización del ejercicio es una de las alternativas que consideran las distintas agencias espaciales para optimizar las contramedidas propuestas hasta el momento. Antonutto, Capelli & Di Prampero (1991) proponen con respecto al uso de gravedad artificial, lo siguiente:

Se propone un sistema que consta de dos bicicletas que giran en sentido contrario acopladas mecánicamente, moviéndose en la pared interior de un módulo de espacio cilíndrico, para evitar la pérdida de acondicionamiento físico en micro-gravedad. Los dos sujetos pedaleando generan un vector de aceleración centrífuga simulando la gravedad terrestre.

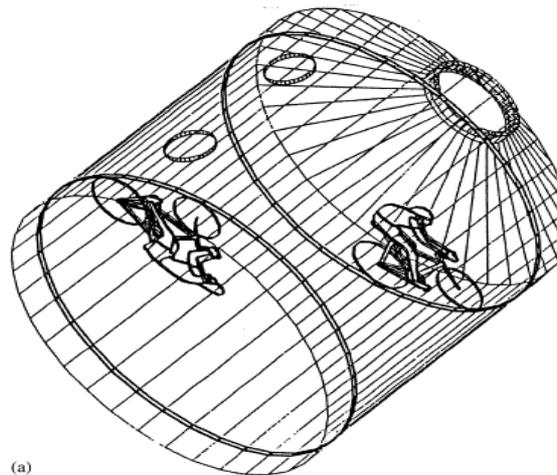


Figura 50. Ilustración del sistema de gravedad artificial compuesto por dos bicicletas.

Fuente: Antonutto, Capelli & Di Prampero (1991)

Las fuerzas mecánicas (w) y metabólicas correspondientes (VO_2), se pueden calcular sobre la base de las características biomecánicas y antropométricas del sistema y los sujetos. Las presiones arteriales medias que prevalecen en los niveles de la cabeza y los pies en las dos condiciones anteriores también se pueden calcular como 95, 150 y 80, 170 mm Hg, respectivamente, para una presión arterial media de 100 mmHg en el bulbo aórtico.

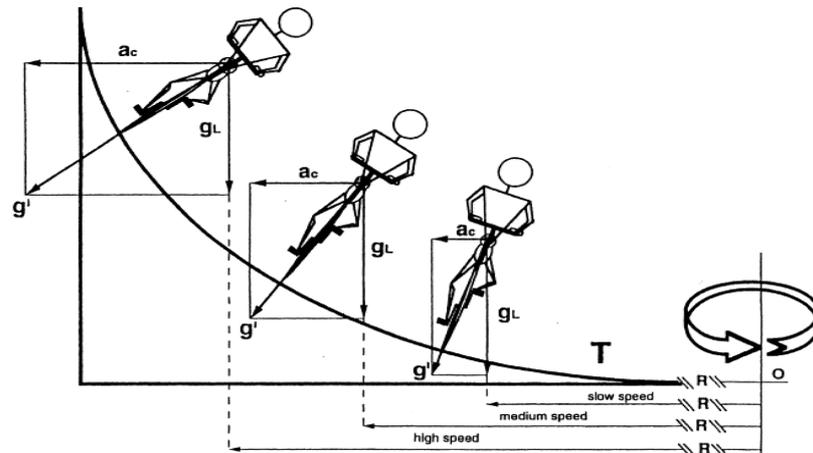


Figura 51. La figura muestra que a distintas velocidades el vector de gravedad es mayor.

Fuente: Antonutto, Capelli & Di Prampero (1991)

En conclusión, mediante la selección apropiada de las dimensiones radiales del módulo espacial con el fin de reducir al mínimo: (1) alteraciones vestibulares, (2) la cabeza a los pies de los gradientes de aceleración centrífuga y (3) los costes de fabricación, puede ser posible combinar el ejercicio y la gravedad simulada, sin necesidad de alimentación externa adicional.

Michael Hopkin en su artículo “Space cycle makes artificial gravity” destaca la idea de Didier Schmidt y Oliver Angerer del uso de centrifugadoras:

Los astronautas podrían pronto tener otra arma en la lucha contra los efectos de desgaste muscular de vivir en el espacio. Y es una sorprendente baja tecnología: una maquina centrífuga [...] que crea su propia 'gravedad'. (¶1)

El artilugio, llamado Ciclo espacio, gira para crear una fuerza que imita la fuerza de la gravedad. El dispositivo consta de un husillo central con un par de arneses adjuntos, uno de los cuales tiene pedales que impulsan la rotación de la máquina. (¶2)

Cuando el ciclista pedalea furiosamente, el giro de la centrífuga lanza las jaulas a cabo y produce una fuerza sobre los dos ocupantes. La persona que se sienta frente a la ciclista puede realizar ejercicios como sentadillas mientras que es 'lastrado' por la fuerza de la rotación. (¶3)

El invento podría ser una solución sencilla para el problema de mantener la masa muscular de los astronautas durante largos períodos en el espacio, tales como períodos de la Estación Espacial Internacional o de una misión a Marte. Los astronautas experimentan actualmente una rutina de ejercicios rigurosos que en el espacio, pero todavía es difícil de imitar los efectos de la gravedad, y los pasajeros espaciales de larga duración se enfrentan a perder hasta un 25% de su músculo del cuerpo. (¶4)

La idea de la pequeña centrifugadora para los astronautas es un tema candente, dice Didier Schmidt y Oliver Angerer, los miembros de la unidad de ciencias de la vida de la Agencia Espacial Europea. Su grupo, con sede en Noordwijk, Países Bajos, está desarrollando una centrífuga similar a probar el próximo año. Se necesitan más pruebas en tierra para demostrar que la centrifugación realmente ayuda huesos y músculos, aunque sus beneficios para el sistema de circulación son más claros. (¶7)

Otros equipos buscan en los dispositivos que reducen la presión alrededor de las extremidades inferiores de los astronautas, para ayudar a succionar líquido en las extremidades inferiores y dar el corazón ejercicio muy necesario en el bombeo de la sangre por todo el cuerpo. (¶8)

Ambos tipos de dispositivos podrían beneficiar el cuerpo, incluso si el astronauta no ejerce dentro. "Lo importante es poner en funcionamiento los sistemas del cuerpo con pulsos cortos de 'hipergravedad', dice Schmidt. (§9)

Pero para los astronautas que se siente con energía, el ciclo de espacio puede ser equipado con una gama de aparatos de ejercicio, incluyendo una cinta de correr o incluso otro ciclo, de modo que dos viajeros espaciales pueden pedalear su camino a la aptitud juntos.(§10)

En realidad instalar estos dispositivos en la Estación Espacial Internacional se requiere mucho más estudio y consideración. La presencia de una rueda que gira dentro de una nave espacial puede establecer un pequeño par de torsión, lo que podría potencialmente derivación fuera de su curso o poner la tensión en las articulaciones que sostienen juntos. El transporte y la instalación del ciclo del espacio es también un trabajo tan complicado que sólo puede considerarse para las embarcaciones de futuro, dice Schmidt. (§11)



Figura 52. Personas realizando ejercicio en una centrifugadora.

Fuente: Space cycle makes artificial gravity. Nature.com (2005)

Hargens, Bhattacharya & Schneider (2012) también proponen el uso de gravedad artificial.

La investigación reciente basado en tierra sugiere que es necesario para llevar a cabo ejercicios contramedidas dentro de alguna forma de gravedad artificial para evitar el desacondicionamiento que genera la microgravedad. A este respecto, es importante para proporcionar carga normal del pie hacia adelante y gradientes de presión hidrostática e intravascular para mantener el músculo-esquelético y la función cardiovascular. El ejercicio aeróbico dentro de una centrífuga restaura la función cardiovascular, mientras el ejercicio aeróbico dentro del rango inferior de presión negativa del cuerpo restaura la función cardiovascular y ayuda a proteger el sistema músculo-esquelético. El ejercicio de resistencia muscular con la estimulación de vibración puede aumentar la eficacia del ejercicio de resistencia muscular [...].

Ploutz-Snyder, Downs, Ryder, Hackney, Scott, Buxton, Goetchius & Crowell (2014) realizaron una investigación basado en modelos bed-rest (reposo en cama) sobre la integración de ejercicio aeróbico y de fuerza como contramedida efectiva. Ellos proponen que:

Los actuales ejercicios contramedidas no han protegido plenamente niveles de “pre-vuelo” de condición física aeróbica y muscular durante las misiones de la Estación Espacial Internacional (ISS), lo que provocó la necesidad de optimizar la prescripción del ejercicio para los astronautas para mejorar o mantener la capacidad para realizar tareas críticas y, finalmente, extender la duración de misiones.

El objetivo de este estudio fue probar la hipótesis de que una prescripción integrada del ejercicio puede mantener la condición cardiovascular y muscular durante 14 días de exposición a un modelo de micro-gravedad (bed-rest).

En el estudio participaron 9 personas. Las cuales permanecieron entre 14-21 de familiarización al bed-rest, 14 días de reposo en cama sumándole ejercicio, y 7 días de recuperación ambulatoria.

Los parámetros que se evaluaron fueron: La capacidad aeróbica máxima ($\dot{V}O_2$ pico), umbral ventilatorio (VT), y las pruebas de prensa isocinéticos y piernas. Las pruebas se realizaron antes y después del reposo en cama.

La sección transversal del músculo se determinó antes, durante, y después del reposo en cama. Se observaron mejoras de antes y después del reposo en cama en las variables evaluadas.

Las conclusiones de este estudio establecen que el ejercicio integrado es completamente eficaz para contrarrestar el desacondicionamiento cardiovascular y la atrofia muscular durante el reposo absoluto en cama usando ejercicio similar al que se prescribe en la ISS.

Capítulo 2. Metodología de investigación.

Para dar respuesta al interrogante planteado y a los objetivos propuestos esta investigación se orienta al tipo de investigación exploratoria y explicativa.

Exploratoria porque es un tema que en el contexto de la Educación Física es poco investigado o poco conocido. Permitirá aproximarnos un poco más a un tema como lo es el ejercicio en microgravedad, con el fin de aumentar el grado de familiaridad.

Explicativa porque trata de buscar el por qué de los hechos. No solo establece todos los acontecimientos que se dan en el espacio, tanto en la fisiología del ser humano como en los programas de entrenamiento, sino que los explica. Explicará cómo ocurre este fenómeno y en las condiciones que se da. Establece relaciones causa-efecto respondiendo así a las preguntas por qué y cómo del objeto estudiado.

La investigación se basa principalmente en la teoría y la integración de lecturas.

El diseño llevado a cabo es la investigación documental, para responder al problema planteado se basa en la obtención y análisis de los datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos. Se refiere a dónde y cuándo se recopila la información, así como a la amplitud de la información recopilada.

El origen de los datos y de los conceptos con los que se trabajó se estableció sobre la base de estudios e investigaciones empíricas desarrollados por fuentes secundarias y terciarias (personas e instituciones).

Los materiales son documentos bibliográficos, en su mayoría electrónicos dada la especificidad del tema.

El método llevado a cabo en este trabajo fue análisis documental.

Para el procesamiento de datos se desarrolló la compilación, luego traducción de los que estaban en otro idioma, clasificación por temas y por último la selección. En tanto para el análisis de datos se llevó a cabo la separación de las partes de un todo a fin de estudiar las por separado así como examinar las relaciones entre ellas.

Capítulo 3. Conclusiones.

A través de esta revisión bibliográfica se unificaron los diferentes conceptos de los investigadores y especialistas citados para obtener las conclusiones correspondientes que se exponen a continuación.

Los astronautas realizan ejercicio por dos motivos fundamentales: para mantener su salud, y a través del mantenimiento de esta asegurar el éxito de la misión.

Se ha demostrado a través de ciencias como la Fisiología gravitacional y la Medicina aeroespacial que la permanencia de los astronautas en micro-gravedad producen cambios en la fisiología del cuerpo humano las cuales atentan contra la salud de los mismos. Las adaptaciones más importantes y más riesgosas son la atrofia muscular, el desacondicionamiento cardiovascular y desmineralización ósea. Mayormente estas adaptaciones fisiológicas son producto de la retirada de carga gravitacional.

La Atrofia Muscular se produce por la falta de gravedad y de la actividad muscular reducida. Esto produce una menor síntesis de proteínas dando como resultado una disminución en la sección transversal de la fibra muscular reduciendo la fuerza y la potencia muscular. La atrofia es selectiva afecta más significativamente a los músculos posturales y produce cambio en el fenotipo de las fibras y en la utilización de los sustratos metabólicos.

El desacondicionamiento cardiovascular es producido por la pérdida de presión hidrostática gravitacional, lo cual provoca una redistribución de los líquidos del cuerpo equiparando los niveles de presión en todo el cuerpo.

La Desmineralización ósea según los distintos investigadores se produce por la descarga mecánica sobre el esqueleto. Al cambiar la posición del vector de gravedad los huesos se encuentran bajo menos tensión, el metabolismo del calcio se altera y se produce una remodelación esquelética dando como resultado osteoporosis.

Por lo tanto, los astronautas deben cumplir una estricta rutina de actividad física para contrarrestar los efectos producidos por la micro-gravedad. Así lo han demostrado las principales agencias espaciales como la National Aeronautics and Space Administration (NASA), la European Space Agency (ESA), la Canadian Space Agency (CSA) y la Russian Federal Space Agency (FKA) reconociendo e implementando la prescripción del ejercicio físico en sus vuelos espaciales tripulados.

El ejercicio en ausencia parcial de gravedad es posible, gracias al diseño de alta ingeniería de los aparatos utilizados en el espacio.

Los distintos programas de entrenamiento que se llevan a cabo en el espacio presentan características comunes. Apuntan a ejercitar la fuerza y la resistencia cardiovascular. Puede ir de tres a seis días de entrenamiento por semana. Durante casi dos horas y media por día. Los aparatos más utilizados son: una cinta de correr, un ciclo-ergómetro (bicicleta) y un aparato de musculación (IRED o ARED). La planificación es individualizada para cada astronauta en función a las evaluaciones de pre-vuelo. Estos planes de entrenamiento presentan durante el vuelo tres fases, una fase de adaptación, otra de desarrollo y otra de preparación para el regreso a la atmósfera terrestre.

Las principales investigaciones del ejercicio en micro-gravedad la desarrollan agencias que integran la ISS (estación espacial internacional) de manera directa como la Nasa, la Agencia Espacial Federal Rusa, la Agencia Espacial Europea (Alemania, Francia, Italia, reino unido y Suiza, entre otros), la Agencia Espacial Canadiense y la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial.

La Agencia Espacial Italiana y la Agencia Espacial Brasileña actúan como países colaboradores en los proyectos de la ISS.

Reconocidos investigadores y especialistas como Hawkey, Mark Guilimas, Tipton y Convertino destacan el ejercicio físico como principal contramedida ante los efectos producidos que genera la exposición prolongada en condiciones de micro-gravedad.

Aún así, los especialistas coinciden en que el ejercicio no logra en el ser humano una protección total contra la exposición en micro-gravedad, por lo que se sugieren otras alternativas.

Estas alternativas sugieren combinar el ejercicio con otras posibles medidas como el uso de gravedad artificial (centrífugas, presión negativa, etc.), desarrollar otros planes de entrenamiento (entrenamiento integrado), modificar el hardware utilizado (nuevas máquinas de ejercicio) o combinar el ejercicio con suplementos nutricionales.

Actualmente el protocolo ideal de ejercicios de fuerza como de resistencia está bajo discusión e investigación.

Recomendaciones.

A través de la lectura del presente trabajo se pueden establecer algunas recomendaciones.

La primera de ellas sería lograr la elevación de la intensidad del ejercicio de fuerza por medio de la utilización de sistemas avanzados de entrenamiento de fuerza, siempre y cuando la ausencia parcial de gravedad lo permita, como por ejemplo repeticiones parciales, repeticiones negativas, super-series o entrenamiento isométrico; métodos que no son observados en las planificaciones expuestas.

Como segunda recomendación y última, y tal vez más amplia que la anterior, sería desarrollar más los contenidos pertenecientes a la fisiología espacial y del entrenamiento en el espacio. De esta manera más profesionales o estudiantes de carreras afines podrían comprender mejor esta temática, favoreciendo la investigación la cual es muy necesaria y realizar así enormes aportes a la prescripción del entrenamiento de la fuerza y la resistencia en el espacio.

Referencias.

- 1-Antonutto G, Capelli C, Di Prampero PE. (1991). Pedalling in space as a countermeasure to microgravity deconditioning. *Microgravity Quarterly*. 1991; 1 (2):93-101.
Recuperado el 09/05/2012 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11541737>
- 2-Antonutto G, di Prampero PE. (2003). Cardiovascular deconditioning in microgravity: some possible countermeasures. *European Journal of Applied Physiology*. 2003 Oct; 90(3-4):283-91. Recuperado el 06/02/2012 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12851824>
- 3-Baevsky R. M., Baranov V. M., Funtova I. I., Diedrich A., Pashenko A.V., Chernikova A. G... Tank J. (2007). Autonomic cardiovascular and respiratory control during prolonged spaceflights aboard the International Space Station. *Journal of Applied Physiology July 2007 vol. 103 no. 1 156-161*.
DOI: 10.1152/jappphysiol.00137.2007. Recuperado el 05/06/2013 de <http://jap.physiology.org/content/103/1/156.full>
- 4- Barer AS. (1991). EVA medical problems..*Acta Astronáutica*. 1991;23:187-93. Review.
Recuperado el 10/03/2015 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11537123>
- 5- Baroni T. , Ferrigno T. , Rabuffetti M. , Pedotti A. & Massion J. (1999). Long-term adaptation of postural control in microgravity. *Experimental Brain Research*. 1999 Oct.; 128(3):410-6. Recuperado el 10/09/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10501814>
- 6- Berman Andrea (s.f). *Human Factors Engineering Issues*. Recuperado el 10/09/2013 de: <http://www.ibiblio.org/lunar/school/library/humfac.html>

- 7- Blomqvist. *Human Physiology in Space Cardiovascular Function during Exercise*.
Recuperado el 03/08/2013 de
<http://www.nsbri.org/humanphyspace/focus2/spaceflight-exercise.html>.
- 8- Bone demineralization, in space. (s.f). *Enciclopedia of science*. Recuperado el
11/09/2013 de
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/B/bone_demineralization.html
- 9- Calatayud Jaime Miquel. (2004). *Estudios de la NASA sobre los efectos biomédicos del vuelo espacial*. Salamanca 2004. Recuperado el 15/01/2013 de
<http://campus.usal.es/~geozona/planetas/edicion2004/Miquel.PDF>
- 10- Canadian space agency. (2013). *Exercising in Space*. Recuperado el 10/04/2013 de
http://www.asc-csa.gc.ca/eng/astronauts/living_exercising.asp
- 11- Cardiovascular adaptations: Can hypergravity exercise training maintain orthostatic tolerance? Recuperado el 15/03/2013 de
http://spacecycle.hs.uci.edu/index_cardadapt.htm
- 12- Cardiovascular Alterations Associated with Spaceflight. (s.f). *Cardiovascular System in space*. Recuperado el 16/03/2013 de <http://what-when-how.com/space-science-and-technology/cardiovascular-system-in-space/>
- 13- Carpenter R. Dana, Lang Thomas F., Bloomfield Susan A., Bloomberg, Jacob J., Judex Stefan, Keyak Joyce H., ..., Spatz Jordan M.(2010) .Effects of Long-Duration Spaceflight, Microgravity, and Radiation on the Neuromuscular, Sensorimotor, and

- SkeletalSystems. *Journal of Cosmology*, October-November, Vol 12. Recuperado el 11/02/2013 de <http://journalofcosmology.com/Mars147.html>
- 14- Collect space. (s.f). Off and no longer running: Space station's first treadmill to be jettisoned with trash. Recuperado el 15/01/2013 de <http://www.collectspace.com/news/news-061113b.html>
- 15- Convertino, VA. (1996). Clinical aspects of the control of plasma volume at microgravity and during return to one gravity. *Medicine and science in sport and exercise*, 1996 Oct; 28 (10 Suppl):S45-52. Review. Recuperado el 22/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8897404>
- 16- Convertino, VA. (1996). Exercise as a countermeasure for physiological adaptation to prolonged spaceflight. *Medicine and science in sport and exercise*. 1996 Aug; 28(8):999-1014. Review. Recuperado el 09/02/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8871910>
- 17- Convertino VA. (1997). Cardiovascular consequences of bed rest: effect on maximal oxygen uptake. *Medicine and science in sport and exercise*. 1997 Feb; 29(2):191-6. Recuperado el 27/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9044222>
- 18- Convertino VA. (2002). Mechanisms of microgravity induced orthostatic intolerance: implications for effective . *Journal of gravitational physiology: a journal of the international Society for Gravitational Physiology*. 2002 Dec.; 9(2):1-13. Review. Recuperado el 01/05/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14638455>

- 19- Convertino VA. (2002). Planning strategies for development of effective exercise and nutrition countermeasures for long-duration space flight. *Nutrition*. 2002 Oct; 18(10):880-8. Review. Recuperado el 14/02/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12361783>
- 20-Convertino, V. & Hoffler, G.W. (1992). Cardiovascular physiology. Effects of microgravity. *The journal of the Florida Medical Association*. 1992 Aug; 79(8):517-24. Review. Recuperado el 02/08/2013 de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1402772>
- 21-Crandall C.G, Johnson J.M, Convertino V.A, Raven P.B & Engelke K.A.(1994). Altered thermoregulatory responses after 15 days of head-down tilt. *Journal of Applied Physiology (Bethesda Md.1985)*, 1994, Oct; 77(4):1863-7. Recuperado el 17/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7836211>
- 22- *Cycle Ergometer*. (s.f). Recuperado el 02/09/2012 de <http://danishaerospace.com/products/cevis>
- 23- Davis SA & Davis BL. (2012). Exercise equipment used in microgravity: challenges and opportunities. *Current Sports Medicine Reports*, 2012, May-Jun; 11(3):142-7. doi: 10.1249/JSR.0b013e3182578fc3. Recuperado el 05/07/2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22580492>
- 24-Definicion de gravedad. (s.f). *Concepto de, Definición de conceptos y definiciones para tus trabajos*. Recuperado el 11/05/2013 de <http://conceptodefinicion.de/gravedad/>

- 25- Delp Michael D. (2002) Arterial Remodeling and Functional Adaptations. Understanding How Space Travel Affects Blood Vessels. *Nasa*. Recuperado el 21/04/2012 de: http://www.nasa.gov/vision/earth/livingthings/arterial_remodel.html
- 26- Delp Michael D.(2006). Arterial adaptations in microgravity contribute to orthostatic tolerance. *Journal of Applied Physiology*, 2007 march vol. 102 no. 3 836, doi: 10.1152/jappphysiol.01347. Recuperado el 01/05/2013 de <http://jap.physiology.org/content/102/3/836>
- 27- Desplanches D. (1997). Structural and functional adaptations of skeletal muscle to weightlessness. *International Journal of Sports Medicine*, 1997 Oct; 18 Suppl 4:S259-64. Recuperado el 02/09/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9391828>
- 28- di Prampero PE. (2000). Cycling on Earth, in space, on the Moon. *European Journal of Applied Physiology*. 2000 Aug; 82(5-6):345-60. Review. Recuperado el 23/04/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10985587>
- 29-Doty S.E & Seagrave R.C.(1999). Human water, sodium, and calcium regulation during space flight and exercise. *Acta Astronáutica*, 1999 Nov.; 45(10):647-54. Recuperado el 10/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11542810>
- 30- Dülrow Oscar. (s.f). Space, the Final Exercise. Recuperado el 15/10/2013 de <https://www.behance.net/gallery/6002577/Space-The-Final-Exercise>

- 31-Engel LA.(1991) Effect of microgravity on the respiratory system. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. 1985)*, 1995 May; 70(5):1907-11. Review. Recuperado el 07/11/2012 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1864769>
- 32- Esch Ben T. A., Scott Jessica M & Warburton Darren E. R.(2007). Construction of a lower body negative pressure chamber. *Advances in Physiology Education*. January 2007 vol. 31 no. 1 76-81 DOI: 10.1152/advan.00009.2006. Recuperado el 15/04/2013 de <http://advan.physiology.org/content/31/1/76.full>
- 33- European Space Agency. (2006).ISPO 2006: space meets sports. *Esa health care network. Human spaceflight and exploration*. Recuperado el 18/09/2012 de http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/ESA_Health_Care_Network/ISPO_2006_Space_meets_sports
- 34- European space agency. (2008). Space in images. Recuperado el 05/07/2013 de http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2008/11/NASA_s_advanced_Resistive_Exercise_Device_aRED_for_the_ISS
- 35- European Space Agency. (2009). Flyweel exercise device. *Human spaceflight research*. Recuperado el 03/10/2012 de http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Human_Spaceflight_Research/Flywheel_Exercise_Device_FWED
- 36- *Exercise program to prevent cardiovascular and musculoskeletal. Deconditioning during a 30 day spaceflight.* (s.f). Recuperado el 19/11/2012 de <http://www.edb.utexas.edu/ssn/CCA%20PDF/Other-Spaceflight.PDF>

- 37-Ferrando AA, Paddon-Jones D & Wolfe RR.(2002). Alterations in protein metabolism during space flight and inactivity. *Nutrition*, 2002 Oct.; 18(10):837-41.Recuperado el 04/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12361775>
- 38- Fitts Robert H., Danny R. Riley & Jeffrey J. Widrick. (2000). Physiology of a Microgravity Environment. Invited Review: Microgravity and skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 1 august 2000 vol. 89no. 823-839. Recuperado el 19/01/2013 de <http://www.jappl.org/content/89/2/823.full>
- 39-Fitts RH, Riley DR & Widrick JJ.(2001) Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *The journal of experimental Biology*, 2001, Sep; 204 (Pt 18):3201-8.Recuperado el 03/02/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11581335>
- 40-Fraser K.S, Greaves D.K, Shoemaker J.K, Blaber A.P & Hughson R.L.(2012). Heart rate and daily physical activity with long-duration habitation of the International Space Station. *Aviation, space, and environmental medicine*, 2012 Jun.; 83(6):577-84.Recuperado el 08/06/2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22764612>
- 41-Frey MA.(1987). Considerations in prescribing preflight aerobic exercise for astronauts. *Aviation, space, and environmental medicine*, 1987, Oct; 58(10):1014-23. Recuperado el 15/06/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3314852>
- 42-Fritsch-Yelle JM, Charles JB, Jones MM, Wood ML. (1996). Microgravity decreases heart rate and arterial pressure in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. 1985)*, 1996, Mar; 80(3):910-4.Recuperado el 01/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8964756>

- 43-García Llama Eduardo. (2014). Investigación y ciencia. Ingeniería y exploración desde la NASA. Vuelos de gravedad cero: ¿Cómo se consigue ingravidez en un avión? Recuperado el 20/12/2014 de <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/35/posts/vuelos-de-gravedad-cero-cmo-se-consigue-ingravidez-en-un-avin-11746>
- 44-González Susana Chavarría. (2006). *Fisiología del ejercicio en el espacio*. Recuperado el 05/01/2012 de http://www.una.ac.cr/maestria_salud/.../fisiologiadeespacio.doc
- 45- Greenleaf, J. E., R. Bulbulian, E. M. Bernauer, W. L. Haskell, and T. Moore. Exercise-training protocols for astronauts in microgravity. *Journal of Applied Physiology* 67: 2191- 204, 1989. Recuperado el 12/01/2015 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2691487>
- 46-Gregory Adams, Vincent J. Caiozzo & Kenneth M. Baldwin. (2003). Skeletal muscle unweighting: spaceflight and ground-based models. *Journal of Applied Physiology* December 1, 2003 vol. 95 no. 6 2185-2201; doi: 10.1152/jappphysiol.00346.2003. Recuperado el 20/05/2012 de <http://jap.physiology.org/content/95/6/2185>
- 47- Grigoriev A.I, Morukov B.V & Vorobiev DV. (1994). Water and electrolyte studies during long-term missions onboard the space stations SALYUT and MIR. *The Clinical Investigator*, 1994, Feb; 72(3):169-89. Recuperado el 09/10/2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8012159>
- 48-Grigoriev A.I, Huntoon C.L, Morukov B.V, Lane H.W, Larina I.M & Smith S.M.(1996). Endocrine, renal, and circulatory influences on fluid and electrolyte

- homeostasis during weightlessness: a joint Russian-U.S. project. *Journal of gravitational physiology: a journal of the international Society for Gravitational Physiology*, 1996, Sep; 3(2):83-6. Recuperado el 27/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11540295>
- 49-Guy H.J, Prisk G.K, Elliott A.R, Deutschman R.A & West J.B.(1994). Inhomogeneity of pulmonary ventilation during sustained microgravity as determined by single-breath washouts. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. 1985)*, 1994, Apr; 76(4):1719-29. Recuperado el 15/05/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8045852>
- 50- Hargens A.R & Watenpaugh D.E.(1996). Cardiovascular adaptation to spaceflight. Aug;28 (8):977-82. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Recuperado el 18/04/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8871907>
- 51-Hargens AR, Bhattacharya R & Schneider SM.(2013). Space physiology VI: exercise, artificial gravity, and countermeasure development for prolonged space flight. *European journal of applied physiology* 2013 Sep; 113(9):2183-92. doi: 10.1007/s00421-012-2523-5. Epub 2012 Oct 19. Recuperado el 11/06/2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23079865>
- 52- Hawkey A. (2003).The importance of exercising in space. *Interdisciplinary Science Reviews: ISR*, 2003, Jun; 28 (2):130-8. Recuperado el 13/04/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16025596>
- 53-Heer M, Kamps N, Biener C, Korr C, Boerger A, Zittermann A,... Drummer C.(1999). Calcium metabolism in microgravity. *European Journal of Medical Research*, 1999,

- Sep 9; 4 (9):357-60. Recuperado el 02/09/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10477499>
- 54-Heer M, De Santo N.G, Cirillo M & Drummer C.(2001). Body mass changes, energy, and protein metabolism in space. *American Journal of Kidney Diseases: the official journal of the National Kidney Foundation*, 2001, Sep; 38(3):691-5. Recuperado el 25/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11532708>
- 55-Hirsch Natalie.(2010). Exercise Countermeasures Support. *Canadian Space Agency*. 19 June 2010. Recuperado el 24/03/2013 de http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505725main_Exercise_Countermeasures_Support.pdf
- 56- Hopkin Michael. (2005). Space cycle makes artificial gravity. *Nature, international weekly journal of science*. Published online 14 September 2005 | Nature | doi: 10.1038/news050912-9. Recuperado el 2/09/2013 de <http://www.nature.com/news/2005/050914/full/news050912-9.html>
- 57-*In-flight exercise protocols to enhance the muscle-skeletal system*. (s.f). Recuperado el 17/04/2013 de http://www.descsite.nl/Students/DeHon/DeHon_chapter5.htm
- 58-Iscandar Mina & Morgan Kevin. (s.f). Microgravity and the Circulatory System. Recuperado el 16/03/2013 de <http://www.ece.mcmaster.ca>
- 59- ISS. (2001). Summary of International Space Station Exercise Countermeasures. *Exercise Countermeasures*. Recuperado el 11/02/2013 de <http://snebulos.mit.edu/projects/announcements/ILSRA-2001/01-OBPR-03-ESlides.pdf>

60- Ingravidez. *Diccionario de astronomía*. Recuperado el 20/12/2014 de

<http://www.astromia.com/glosario/ingravidez.htm>

61- Keim Brandom (2009). High-Tech Weights for Space Workout. *Wired, news, science*.

Recuperado el 05/03/2012 de [http://www.wired.com/](http://www.wired.com/wiredscience/2009/04/astromuscles2/)

[wiredscience/2009/04/astromuscles2/](http://www.wired.com/wiredscience/2009/04/astromuscles2/)

62- Keller TS & Strauss AM. (1993). Predicting skeletal adaptation in altered gravity

environments. , *Journal of the British Interplanetary Society*, 1993 Mar; 46(3):87-

96. Recuperado el 13/06/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11539499>

63- Kingma I, Toussaint HM, Commissaris DA & Savelsbergh GJ.(1999). Adaptation of center of mass control under microgravity in a whole-body lifting task.

Experimental Brain Research, 1999 Mar; 125 (1):35-42. Recuperado el 12/08/2013

de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10100974>

64- Kozlovskaya I.B & Grigoriev A.I. (2004). Russian system of countermeasures on board of the International Space Station (ISS): the first results. *Acta Astronáutica*, 2004

Aug-Nov; 55(3-9):233-7). Recuperado el 02/03/2013 de

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15806738>

65-Kozlovskaya Inesa B. & Yarmanova Eugenia N. (2010). *Russian system of*

countermeasures on ISS. Recuperado el 02/03/2013 de

[http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/](http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505721main_Russian_System_of_Countermeasures_on_ISS.pdf)

[505721main_Russian_System_of_Countermeasures_on_ISS.pdf](http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505721main_Russian_System_of_Countermeasures_on_ISS.pdf)

- 66- Lackner J.R & DiZio P. (1993). Multisensory, cognitive, and motor influences on human spatial orientation in weightlessness. *Journal of Vestibular Research: equilibrium & orientation*, 1993 Fall; 3(3):361-72. Recuperado el 11/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8275269>
- 67- Lanizewski Jorge. (2012) ¿INGRAVIDEZ O CAÍDA LIBRE? O LA GRAVEDAD Y LA ...MICROGRAVEDAD ¿Qué es eso?. *Circulo astronómico*. Recuperado el 09/01/2012 de <http://www.circuloastronomico.cl/temas/caida.html>
- 68- Leach C.S & Rambaut P.C. (1975) Endocrine responses in long-duration manned space flight. *Acta Astronáutica*, 1975 Jan-Feb; 2(1-2):115-27. Recuperado el 07/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11841088>
- 69- Leach CS, Leonard JI, Rambaut PC & Johnson PC.(1978). Evaporative water loss in man in a gravity-free environment. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 1978 Sep; 45(3):430-6. Recuperado el 07/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/701129>
- 70-Leach C.S, Altchuler S.I & Cintron-Trevino N.M.(1983). The endocrine and metabolic responses to space flight. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1983;15(5):432-40.Recuperado el 08/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6645875>
- 71- Leach C.S, Johnson P.C & Cintrón N.M. (1988). The endocrine system in space flight. *Acta Astronáutica*, 1988; 17(2):161-6.Recuperado el 11/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11537094>

72-Leach CS, Alfrey CP, Suki WN, Leonard JI, Rambaut PC, Inners LD,...Krauhs JM.

(1996).Regulation of body fluid compartments during short-term spaceflight.

Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. 1985), 1996 Jul; 81(1):105-16.

Recuperado el 15/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8828652>

73- Linnarsson D. (1996). Pulmonary function and cardiopulmonary interactions at

microgravity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1996 Oct; 28(10

Suppl):S14-7. Review. Recuperado el 22/04/2013 de

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8897397>

73- Loehr Jim. NASA-Johnson Space Center. U.S. Countermeasure Operations

Recuperado el 12/03/2014 de

http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505720main_US_Countermeasures_Operations.pdf

74- Loenneke Jeremy P., Wilson Jacob M. & Bemben Michael G. (2012). Potential

exercise countermeasures to attenuate skeletal muscle deterioration in space.

Journal of Trainology, january 2012; Vol. 1, No. 1: Pages 1-5. Recuperado el

04/08/2013 de http://trainology.org/Abstract_link/Abstract2012-p1-5.html

75- Loerch Linda. (2010).. Candidate Exercise Technologies and Prescriptions. NASA

Johnson Space Center June 2010. Recuperado el 24/01/2013 de

[http://www.nasa.gov/ centers/](http://www.nasa.gov/centers/)

[johnson/pdf/505730main_Candidate_Exercise_Technologies_and_Prescriptions.pdf](http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505730main_Candidate_Exercise_Technologies_and_Prescriptions.pdf)

76-Macho L, Fickova M, Lichardus B, Kvetnansky R, Carrey RM, Grigoriev A,... Noskov

VB.(1992). Changes of hormones regulating electrolyte metabolism after space

- flight and hypokinesia. *Acta Astronáutica*, 1992 Jul; 27:51-4. Recuperado el 1/09/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11537597>
- 77-Martinez Gonzales Eduardo. (s.f). La medicina espacial. *Medicina Astronáutica*, capitulo 10 subcapítulo 23. Recuperado el 15/04/2012 de <http://www.cosmonautica.es/23html>
- 78- Massion J, Amblard B, Assaiante C, Mouchnino L & Vernazza S. Body orientation and control of coordinated movements in microgravity. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 1998 Nov; 28(1-2):83-91. Review. Recuperado el 5/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9795153>
- 79-.*Microgravity contermesures*.(s.f) Recuperado el 12/09/2012 de <http://suzymchale.com/ruspace/microgcm .html>
- 80- Mikhaylov V , Lee SM , Kobzev Y , Gonzalez RR , Greenleaf JE . Body temperature and thermoregulation during submaximal exercise after 115-day spaceflight. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1998 Feb; 69(2):137-41. Recuperado el 9/08/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9491252>
- 81-. Misiones espaciales. (s.f) *Medicina aeroespacial*. Recuperado el 5/10/2012 de <http://www.fecyt.es/especiales/misionesespaciales/11.htm>
- 82-Moore, Alan D., Jr.; Evetts, Simon N.; Feiveson, Alan H.; Lee, Stuart M. C.; McCleary. Frank A.& Platts, Steven H.(2010). Maximum Oxygen Uptake During and After Long-Duration Space Flight. *eBook and Texts, NASA Technical*

Documents. Recuperado el 26/08/2013 de

http://archive.org/details/nasa_techdoc_20100003953

83- Mulder Edwin Richard (2001). Comparison of Strength Training with the International Space Station (ISS) interim Resistance Exercise Device (iRED) vs Free Weights.

Recuperado el 10/04/2013 de

http://www.descsite.nl/Students/Mulder/Mulder_cover.htm

84- Nasa. (s.f). Advanced Resistive Exercise Device (ARED). *International space station*

Recuperado el 15/03/2013 de [http://www.nasa.gov/mission_pages/station/](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1001.html)

[research/experiments/1001.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1001.html)

85- Nasa. (s.f). Cycle Ergometer with vibration isolation and stabilization system (CEVIS).

International Space Station. Recuperado el 10/05/2013 de

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/CEVIS.html

86- Nasa. (s.f). Integrated Resistance and aerobic training study(sprint). *International*

Space Station. Recuperado el 2/07/2013 de [http://www.nasa.gov/mission_pages/](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/972.html)

[station/research/experiments/972.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/972.html)

87- Nasa. (s.f). Muscle Atrophy Research and Exercise System (MARES). *International*

Space Station. Recuperado el 28/05/2013 de

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/352.html

88- Nasa.(s.f). Nasa Images. *Image of the Day Gallery*. STS-110 Extravehicular Activity

(EVA). Recuperado el 10/03/2015 de

http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_42.html

- 89- Nasa. (s.f). Resistive Exercise Device (IRED). *International Space Station*. Recuperado el 20/12/2012 de http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1128.html
- 90- Nasa. (s.f). Standards Inform Comfortable Car Seats. Nasa spinoff. Recuperado el 03/02/2013 de http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2013/t_4.html
- 91- Nasa. (s.f).Treadmill with Vibration Isolation and stabilization System (TVIS). *International space station*. Recuperado el 28/03/2012 de http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/976.html
- 92-Nasa.(s.f). The History of Exercise in Human Spaceflight. *Nasa´s Fundamental Space Biology Outreach Program*. Recuperado el 06/10/2012 de <http://weboflife.ksc.nasa.gov/oldDoNotDelete/excerciseInSpace.htm>.
- 93- Nasa. (1995). *Man-Systems Integration Standards*. Revision B, July 1995 Volume I, Section 14 EXTRAVEHICULAR ACTIVITY (EVA). Recuperado el 10/03/2015 de <http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section14.htm>
- 94- Nasa. (2004). Living and working in space: a history of Skylab. The first mission. *Physical Fitness in Space*. *Nasa History Office*. Recuperado el 23/10/2012 de <http://history.nasa.gov/SP-4208/ch15.htm>
- 95 -Nasa. (2004).*Your Body in Space: Use It or Lose*. Recuperado el 21/03/2012 de http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/F_Your_Body_in_Space.html

- 96- Nasa. (2008). Risk of Reduced Physical Performance Capabilities Due to Reduced Aerobic Capacity. *Human Research Program Human Health Countermeasures Element*. Recuperado el 19/07/2013 de <http://humanresearchroadmap.nasa.gov/Evidence/reports/Aerobic.pdf>
- 97- Netto Ricardo Santiago. (s.f). Fisicanet. *Física - Cinemática*. Recuperado el 20/12/2014 de http://www.fisicanet.com.ar/fisica/cinematica/ap05_caida_libre.php
- 98- NTE healthcare.(s.f) Muscle Atrophy Research and Exercise System (MARES).Recuperado el 07/03/2015 de <http://www.ntehhealthcare.com/NTE/ProjectsNTESpace/muscle-atrophy-research-exercise-system-mares>
- 99-Oganov VS.(2004). Modern analysis of bone loss mechanisms in microgravity. *Journal of gravitational physiology: a journal of the International Society for Gravitational Physiology* 2004 Jul; 11(2):P143-6.Recuperado el 7/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16237819>
- 100- Ohshima Hiroshi (2010). Current Exercise Operational Support for Japanese astronauts. Recuperado EL 12/03/2014 de http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505728main_Current_Exercise_Operational_Support_For_Japanese_Astronauts.pdf
- 101- O'Rangers Eleanor A. (2011). Clinical Pharmacology of Spaceflight. Efficacy of Medications Used During Space Missions. *Medscape*. Recuperado el 22/05/2013 de http://www.medscape.com/viewarticle/735035_4

- 102- Petersen Nora. (2010). Countermeasure exercise on ISS .European Concept. *European Space Agency*. Recuperado el 27/03/2013 de http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505729main_Countermeasure_Exercise_On_ISS_European_Concept.pdf
- 103- Ploutz-Snyder Lori. (s.f). An evidence based approach to exercise prescription on ISS. *Project Scientist & Lab Manager. Exercise Physiology and Countermeasures. Universities Space Research Association. Lyndon B Johnson Space Center*. Recuperado el 22/08/2012 de [http:// www.dsls.usra.edu/2009326Snyder.pdf](http://www.dsls.usra.edu/2009326Snyder.pdf)
- 104- Ploutz-Snyder Lori. Integrated Resistance and Aerobic Training Study- Sprint. *Human Research Program Informed Consent Briefing*. Recuperado el 12/05/2013 de http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100039331_2010040771.pdf
- 105-Ploutz-Snyder LL, Downs M, Ryder J, Hackney K, Scott J, Buxton R, Goetchius E & Crowell B.(2013). Integrated resistance and aerobic exercise protects fitness during bed rest. *Medicine and science in sports and exercise* 2014 Feb;46(2):358-68. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182a62f85.Recuperadoel 29/09/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24441215>
- 106- Plush Linda. (s.f). *Effects of Microgravity “Space”Environment on Physiologic Homeostasis*. Recuperado el 20/02/2013 de <http://www.spacemedicineassociates.com>
- 107- Prisk GK. Microgravity and the lung. (2000). *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) Julio 2000, 89 (1):385-96. Recuperado el 3/05/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10904076>

- 108- Prisk Kim G. (2005). The lung in space. *Clinics in chest medicine*. 2005 Sep; 26(3):415-38, vi. Review. Recuperado el 15/03/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16140136>
- 109- Prisk GK, Guy HJ, Elliott AR, West JB. Cardiopulmonary adaptation to weightlessness. *Journal of gravitational physiology: a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 1994 May;1(1):P118-21. Recuperado el 27/04/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11538737>
- 110- Ragusa Paul. (2011) In-flight ingenuity... Helping Astronauts Stay Fit in Zero G. *Nasa fitness*, junio 2011 .Recuperado el 11/03/2012 de http://www.ebmpubs.com/GRF_pdfs/grf0611_NasaFitness.pdf
- 111-Real academia española. *Diccionario de la lengua española*- Vigésima segunda edición. Recuperado el 6/03/2013de <http://www.rae.es/RAE/Noticias.nsf/Home?ReadForm>
- 112- Reduced muscle mass, strength and performance in space. (2013). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Recuperado el 27/07/2013 de http://en.wikipedia.org/wiki/Reduced_muscle_mass,_strength_and_performance_in_space
- 113-Reschke MF , Bloomberg JJ , Harm DL , Paloski WH , Layne C , McDonald V .(1998) Posture, locomotion, spatial orientation, and motion sickness as a function of space flight. *Brain research. Brain research reviews*, 1998 Nov; 28(1-2):102-17. Recuperado el 12/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9795167>

- 114-Smith SM, Krauhs JM, Leach CS. Regulation of body fluid volume and electrolyte concentrations in spaceflight. *Advances in space biology and medicine*, 1997; 6:123-65. Recuperado el 4/06/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9048137>
- 115- Space biology modules. Cardiovascular & pulmonary. Research & applications. (s.f) Recuperado el 07/03/2013 de http://www.mainsgate.com/spacebio/modules/cp_reapp.html
- 116- *Space-physiology research, an introduction*. (s.f). Recuperado el 11/08/2012 de http://www.descsite.nl/Students/DeHon/DeHon_chapter1.htm
- 117-Spacetex project prepares for lift-off.(2014). Innovation in textiles, first for technical textiles..Recuperado el 15/10/2014 de <http://www.innovationintextiles.com/spacetex-project-prepares-for-liftoff/>
- 118- Stein T. P & Gaprindashvili T . (1994). Spaceflight and protein metabolism, with special reference to humans. *The American journal of clinical nutrition*, noviembre 1994, 60 (5): 806S-819S. Recuperado el 17/06/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7942591>
- 119- Stepaniak P. C, Furst J. J & Woodard D. (1986). Anabolic steroids as a countermeasure against bone demineralization during space flight. *Aviation, space, and environmental medicine*. 1986 Feb; 57(2):174-8. Recuperado el 1/09/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3954707>
- 120- Teitel Amy. (s.f) *Astronaut Training: Test Yourself To See If You Have The Right Stuff To Be Shot Into Space*. Recuperado el 22/07/ 2012 de

<http://motherboard.vice.com/blog/even-astronauts-hearts-need-to-have-the-right-stuff>

121- Tipton C. M. (1983). Considerations for exercise prescriptions in future space flights.

Medicine and science in sports and exercise, 1983; 15 (5):441-4. Recuperado el 15/04/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6645876>

122- Tischler M. & Slentz M. (1995). Impact of weightlessness on muscle function.

American Society for Gravitational and Space Biology, 1995 Oct; 8 (2):73-81. Recuperado el 22/05/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11538553>

123- Trappe Scott , David Costill, Philip Gallagher, Andrew Creer, Jim R. Peters, Harlan

Evans, Danny A. Riley & Robert H. Fitts.(2009). Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station. *Journal of Applied Physiology*, April 2009 Vol. 106 no. 1159-

1168DOI: 10.1152/jappphysiol.91578.2008. Recuperado el 11/01/2013 de <http://jap.physiology.org/content/106/4/1159.full>

124- Viel Sebastien, Vaugoyeau Marianne & Assaiante Christine. (2010). *Postural*

Adaptation of the Spatial Reference Frames to Microgravity: Back to the

Egocentric Reference Frame. DOI: 10.1371/journal.pone.0010259. Recuperado el 1/07/2013 de

<http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0010259>

- 125- Wadenaugh Donald & Hargens Alan. (s.f). The cardiovascular system in
mmicrogravity. Recuperado el 19/02/2013 de
<http://honorshumanphysiology.com/Newsletters/PBL3-2.pdf>
- 126- West Jhon B. (2000).Physiology of a Microgravity Environment. Historical
Perspectives: Physiology in microgravity. *Journal of Applied Physiology* 89:379-
384, 2000. Recuperado el 5/03/2013 de <http://jap.physiology.org/content/89/1/379.full>
- 127- West J.B, Elliott A.R, Guy H.J & Prisk G.K. (1997). Pulmonary function in space.
JAMA: the journal of the American Medical Association,1997Jun25;277(24):1957-
61. Recuperado el 29/03/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9200637>
- 128- What Is Microgravity?(2012)Recuperado el 15/11/2014 de
<http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/what-is-microgravity-58.html#.VOCclvmG-QE>
- 129- Williams David , Andre Kuipers,Chiaki Mukai & Robert Thirsk. (2009). Acclimation
during space flight: effects on human physiology. *Canadian Medical Association
Journal (CMAJ)*, 2009 June 23; 180(13): 1317–1323. doi: 10.1503/cmaj.090628
Recuperado el 20 /01/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2696527/>.
- 130-Willmore y Costill. Fisiología del esfuerzo y del deporte. *Ejercicio en ambientes
hiperbáricos, hipobáricos y en microgravedad*, parte 4, capítulo 11, pag 367.
Recuperado el 03/10/2012 de

http://books.google.com.ar/books?id=RXmtpVxDZXQC&pg=PA364&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false...

- 131- Wolfe J.W & Rummel J.D.(1992) Long-term effects of microgravity and possible countermeasures. *Advances in space research: the official journal of the Committee on Space Research (COSPAR)*, 1992; 12 (1):281-4. Recuperado el 15/04/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11536970>
- 132- Yu Xj & Yang Td. (2000). Ground-based studies on thermoregulation at simulated microgravity by head-down tilt bed rest. *Space Med & Medical Engineering (Beijing)*, 2000 octubre; 13 (5):382-5. Recuperado el 20/05/2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11894879>
- 133-Zamparo P, Capelli C & Antonutto G.(1992). Blood lactate during leg exercise in microgravity. *Acta Astronáutica*, 1992 Jul.; 27:61-4.Recuperad el 11/07/2013 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11537599>