

# Examen clínico cardiovascular en el espacio

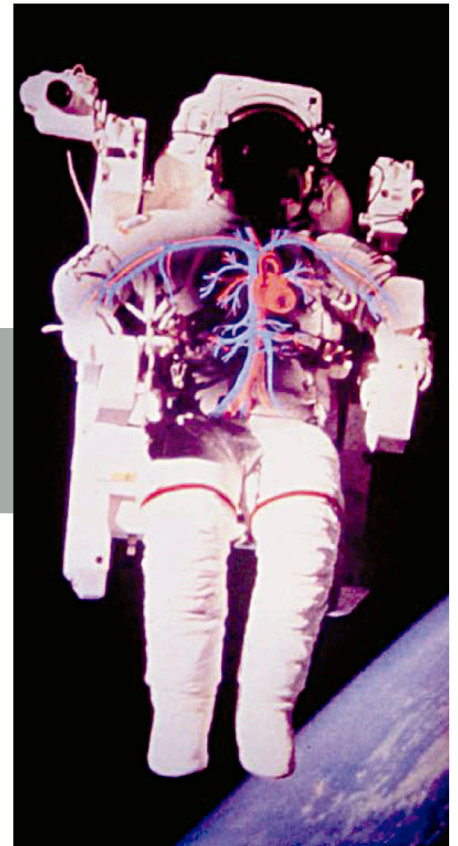
Si los cambios cardiovasculares operados en ausencia de gravedad se valoraran con criterio de "cardiología terrestre" serían indicativos de procesos patológicos severos, sin embargo, en el espacio exterior son enteramente normales.

Dr. Ramiro Iglesias Leal  
Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", México, D. F. y  
Universidad Autónoma de Tamaulipas  
Dr. Jorge Kuri Alfaro  
Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", México, D. F.

## RESUMEN

**Introducción:** durante los vuelos espaciales el sistema cardiovascular experimenta cambios importantes, fisiológicos y anatómicos; estas modificaciones son debidas a un proceso de adaptación del cuerpo humano al ámbito espacial, en particular a la ausencia de gravedad; son cambios reversibles cuando se regresa a la Tierra y no representan patología alguna.

El presente trabajo analiza el conjunto de datos clínicos cardiovasculares que deben ser considerados normales en ausencia de gravedad, el mecanismo que los genera y el significado



La migración de líquido a las regiones superiores del cuerpo es muy marcada desde las primeras horas del vuelo.



El Dr. Kerwin, primer médico norteamericano en el espacio, se toma la presión arterial y confirma que es igual en las cuatro extremidades.

patológico que tendrían si se presentaran en la Tierra.

**Métodos:** los autores han hecho una revisión general de la experiencia acumulada en la medicina espacial, en particular del comportamiento que el sistema cardiovascular tiene en ese ámbito. Se identifican las variables clínicas consideradas como normales durante la estancia en el espacio y se comparan con las mismas variables en la Tierra.

**Resultados:** son muy evidentes los cambios cardiovasculares operados en ausencia de gravedad, los cuales, si se valoraran con criterio de "cardiología terrestre" serían indicativos de procesos patológicos severos, sin embargo, en el espacio exterior son enteramente normales.

**Conclusiones:** los datos clínicos cardiovasculares normales en la Tierra no son los mismos que en el espacio exterior; esos cambios obedecen a un proceso de adaptación del sistema cardiovascular a la ausencia de gravedad y no representan patología alguna; sin embargo, si esos datos se valoraran con los criterios clásicos de la cardiología corresponderían a patología severa. El conocimiento de estos hechos tiene un interés académico y también tendrá un valor clínico real cuando la telecardiología espacial sea una práctica común.

## INTRODUCCIÓN

El sistema cardiovascular (SCV) es una de las áreas del cuerpo humano particularmente influenciada por la gravedad terrestre (IG); este sistema posee una serie de mecanismos de ajuste hemodinámico que asegura la adecuada perfusión sanguínea cerebral, en cualquier posición que el cuerpo adopte con respecto al vector de la aceleración de la gravedad.

La mayor parte de los fisiólogos toman la posición de pie o sedente (sentado) como referencia para el estudio de la fisiología cardiovascular, debido a que en esta postura los seres humanos pasamos la mayor parte de la vida (dos terceras partes en promedio). Por efecto de la gravedad, algunas constantes clínicas cardiovasculares varían en las diferentes partes del cuerpo; por ejemplo, la presión arterial, la amplitud del pulso arterial y la presión venosa tienen valores más altos en las regiones caudales que en las cefálicas.

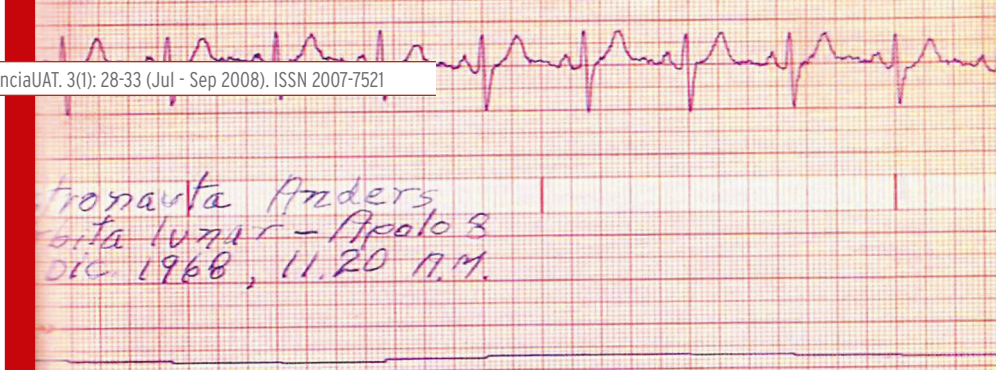
La presión hidrostática (o presión gravitacional) está condicionada por la acción de la gravedad y es la responsable de que en un individuo en

posición ortostática la presión arterial media sea en la cabeza de 70 mmHg (milímetros de mercurio), al nivel del corazón de 100 mmHg y en los pies de 200 mmHg; que la presión venosa sea de menos 10 mmHg en el seno sagital, de 0 mmHg al nivel del corazón y de 90 mmHg en los pies; que la presión arterial y venosa pulmonar tengan valores superiores en las bases que en los vértices. La acción de la gravedad es también un factor condicionante de otras variables clínicas normales en la Tierra, que se modifican importantemente en ausencia de gravedad o gravedad cero (OG).

Durante los vuelos espaciales, específicamente cuando las naves se encuentran en órbita terrestre, en trayectoria interplanetaria o en la órbita de otros cuerpos celestes, la fuerza gravitacional deja de actuar, se entra en un estado de ingravidez, los astronautas y los objetos flotan libremente dentro de la cabina. La OG es, con mucho, el factor en el ámbito espacial que introduce el mayor número de cambios en el SCV y en el resto del cuerpo humano; estas modificaciones son numerosas e importantes; son parte de un proceso de adaptación general a la ingravidez y aunque no representan patología alguna durante la estancia en el espacio exterior, es necesario conocerlas para evitar posibles errores de interpretación.

Este trabajo establece una correlación entre el conjunto de datos clínicos obtenidos en un examen cardiovascular normal en la Tierra y los mismos parámetros en ausencia de gravedad, puesto que las variables clínicas cardiovasculares normales de una persona son diferentes en una y otra situación. Se analiza el mecanismo que origina cada uno de estos cambios; se hacen algunas consideraciones sobre el significado clínico que estas modificaciones normales en ingravidez tendrían si se les valorara con criterio de "cardiología terrestre".

Primer trazo electrocardiográfico recibido desde órbita lunar (386 000 km de distancia). El registro fue obtenido por el autor de este trabajo cuando participó como médico invitado en el Centro de Control de la Nasa en Houston, Texas.



El proceso de adaptación del SCV a la OG presenta dos fases con marcadas diferencias hemodinámicas: la primera fase se inicia en el momento en que la nave entra en órbita y cubre 72 horas o algo más; se caracteriza por incremento del retorno venoso (precarga), el volumen latido, el gasto cardíaco y las dimensiones de las cavidades cardíacas.

La segunda fase se extiende hasta la sexta semana de la misión y se caracteriza por cambios progresivos y apenas perceptibles. Las variables normales del SCV en OG que aquí describimos pueden observarse plenamente desde la segunda semana de vuelo.

Consideramos que es oportuno reconocer y difundir en la clase médica estos aspectos cardiológicos peculiares, no sólo por su interés académico, sino por el valor clínico que adquirirán cuando en el futuro la telecardiología espacial sea una práctica común.

## MÉTODOS

Los autores han realizado una revisión general de la experiencia acumulada en la medicina espacial, particularmente lo relacionado con los cambios anatomofuncionales que experimenta el SCV en OG. Se han revisado también los resultados de los procedimientos que se utilizan en la Tierra para simular los efectos de la OG, en particular, de los tres siguientes: a) reposo en cama con la cabeza a 6° (grados) abajo de la horizontal, durante días, semanas o meses; b) inmersión en agua durante horas o días; c) vuelos parabólicos en avión para producir ingravidez durante 30 segundos.

Se ha hecho acopio de información clínica cardiovascular obtenida en diferentes misiones espaciales; de la descripción de estudios electrocardiográficos, ecocardiográficos y Doppler; de las imágenes de estudios radiológicos practicados antes y después de algunos vuelos. Con



## El examen de fondo del ojo revela la intensa congestión de la circulación retiniana y, consecuentemente, de la circulación cerebral.

toda esa información, dispersa en diferentes publicaciones, integramos el conjunto de datos clínicos cardiovasculares normales en ausencia de gravedad y los comparamos con los datos clínicos cardiovasculares normales en la Tierra. Finalmente, se menciona el significado que cada uno de los datos clínicos normales en ausencia de gravedad tendrían si se les comparara con el examen clínico cardiovascular en gravedad terrestre.

### RESULTADOS

Primero se mencionan los cambios cardiovasculares que se observan en el examen físico (inspección, palpación, percusión y auscultación). Después, se presentan los datos obtenidos con equipo especializado (radiografía de tórax, electrocar-

diograma, ecocardiograma, Doppler, cateterismo cardiaco derecho y pruebas funcionales respiratorias).

1. Los cambios clínicos cardiovasculares más sobresalientes son los siguientes: a) edema facial y palpebral; b) hiperemia conjuntival; c) rubicundez del rostro; d) congestión de la circulación retiniana (los primeros días de vuelo); e) dilatación de las venas de la frente, el cuello, los antebrazos y dorso de las manos; f) el ápex difícil de palpar, se encuentra por encima del punto donde la línea medio clavicular cruza el espacio intercostal izquierdo; g) la frecuencia cardiaca tiende a ser baja, particularmente durante el sueño; h) la presión arterial es igual en los miembros superiores e inferiores; i) el tórax se vuelve cilíndrico, "en tonel"; j) el dia-

fragma es desplazado unos 5 ó 6 centímetros arriba de lo normal; k) el área hepática está desplazada hacia arriba; l) el pulso arterial disminuye de amplitud en los miembros pélvicos.

Estos cambios en la exploración cardiovascular en la Tierra sugerirían una importante patología cardiopulmonar, pero en el espacio son normales y obedecen a un proceso de adaptación al estado de ingravidez.

2. Los estudios de laboratorio y gabinete practicados a bordo de naves espaciales ofrecen los siguientes datos de interés: a) el tamaño del corazón disminuye de un 10 a un 15%; b) el tórax se vuelve más ancho y más corto; c) la presión venosa central, contra lo que se había supuesto teóricamente, no está elevada (cifras obtenidas directamente por cateterismo derecho); d) el volumen latido y el gasto cardiaco disminuyen entre 15 y 20%; e) el volumen total de sangre disminuye de un 10 a un 15%; f) el hematocrito aumenta ligeramente; g) el electrocardiograma sugiere vagotonía; h) el estudio Doppler muestra disminución del flujo arterial en los miembros inferiores hasta de un 30%; i) la circulación central se encuentra incrementada (en promedio 800 ml más de sangre en la cavidad torácica); j) la perfusión y la ventilación son uniformes en toda la extensión de los pulmones; k) la presión arterial pulmonar tiene valor uniforme en todas las regiones del pulmón; l) la vascularidad pulmonar está aumentada y uniformemente distribuida.

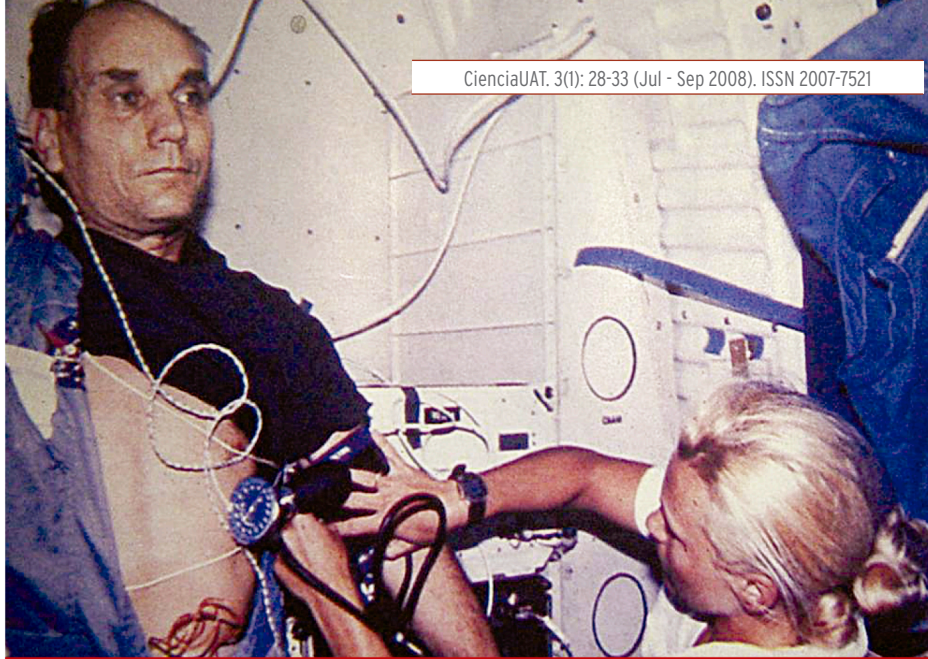
### DISCUSIÓN

Los cambios fisiológicos y anatómicos que experimenta el SCV en el espacio exterior son consecuencia de la supresión del efecto de la fuerza gravitacional terrestre. Uno de los hechos fundamentales que ocurren en el organismo humano en OG es la desaparición de la presión hidrostática; esto trae aparejado que la presión arterial sistémica sea la misma en todas las regiones del organismo, que la presión venosa sea también uniforme y que la presión arterial pulmonar sea la misma en los vértices y en las bases.

Otro hecho fisiológico de importancia capital es la redistribución de líquidos del cuerpo humano, es decir, la migración de un importante volumen de sangre y de líquido extravascular desde las porciones inferiores del cuerpo hacia las regiones cefálicas. Lo anterior explica el edema facial y palpebral, la hiperemia conjuntival y la

**TABLA I. DIFERENCIAS EN LAS VARIABLES CLÍNICAS CARDIOVASCULARES NORMALES EN VUELO ESPACIAL Y EN LA TIERRA**

VARIABLES CLÍNICAS	EN VUELO ESPACIAL	EN LA TIERRA
<b>Edema facial y palpebral</b>	Presente.	Ausente.
<b>Dilatación de venas de la frente y el cuello</b>	Presente.	Ausente.
<b>Hiperemia conjuntival</b>	Presente.	Ausente.
<b>Rubicundez del rostro</b>	Presente.	Habitualmente ausente.
<b>Palpación del ápex</b>	En el cuarto espacio intercostal.	En el quinto espacio intercostal izquierdo sobre la línea media clavicular.
<b>Frecuencia cardiaca</b>	A menudo muy disminuida durante el sueño.	A veces disminuida durante el sueño.
<b>Presión arterial</b>	Igual en miembros inferiores y superiores.	Más alta en miembros inferiores que en los superiores.
<b>Configuración del tórax</b>	Cilíndrico, corto, "en tonel".	El diámetro anteroposterior más corto que el transversal.
<b>Posición del diafragma</b>	Desplazado 5 a 6 cm hacia arriba.	Posición anatómica habitual.
<b>Ruido respiratorio</b>	Disminuido en las bases.	Normal.
<b>Área hepática</b>	Desplazada hacia arriba.	El límite inferior a la altura del borde costal derecho.
<b>Amplitud del pulso arterial en miembros inferiores</b>	Disminuido.	Normal.
<b>Venas de miembros inferiores</b>	Inaparentes.	Aparentes.



## La Dra. Seddon realiza un estudio ecocardiográfico al astronauta (y senador) Garn durante la misión STS-51.

encima del punto donde normalmente se palpa en el examen cardiológico en la Tierra.

Durante los vuelos espaciales se registra una disminución de más del 30% del flujo sanguíneo arterial de las extremidades pélvicas, debido a disminución de su volumen total, atrofia muscular y migración de líquidos a las regiones cefálicas, lo cual explica la disminución de la presión arterial y de la amplitud del pulso en estas extremidades.

No obstante que el tórax se acorta, que aloja una mayor cantidad de sangre en su interior y que las bases son parcialmente comprimidas por el ascenso del diafragma, el intercambio gaseoso se realiza en forma muy satisfactoria en OG, porque existe una ventilación y perfusión uniforme en todos los segmentos pulmonares.

A continuación se menciona el significado que las variables clínicas cardiovasculares normales en microgravedad tendrían si se las observara en un examen cardiovascular en la Tierra.

- 1. Edema facial y palpebral:** su presencia sugiere síndrome nefrótico, hipoproteinemia, edema angioneurótico, mixedema, síndrome de Cushing y compresión u obstrucción de vena cava superior.
- 2. Dilatación de las venas de la cara y el cuello:** son numerosos los padecimientos que pueden causar plétora venosa cefálica y del cuello: insuficiencia cardíaca derecha, pericarditis constrictiva, derrame pericárdico, insuficiencia o estenosis de la válvula tricúspide, hipertrofia severa de ventrículo derecho, hipertensión arterial pulmonar importante, atresia tricúspide, mixoma en aurícula derecha, infarto del ventrículo derecho, obstrucción de la vena cava superior, hipervolemia de cavidades derechas (en algunas cardiopatías congénitas).
- 3. Hiperemia conjuntival:** esta manifestación clínica generalmente es secundaria a infección bacteriana o viral, a irritación química o física y a reacción alérgica.
- 4. Rubicundez del rostro:** puede ser normal en algunas personas, pero comúnmente obedece a quemadura solar, fiebre, temperatura am-

**TABLA II. DIFERENCIAS EN LAS VARIABLES CLÍNICAS CARDIOVASCULARES NORMALES OBTENIDAS A TRAVÉS DE ESTUDIOS DE LABORATORIO Y GABINETE EN VUELO ESPACIAL Y EN LA TIERRA**

VARIABLES	EN VUELO ESPACIAL	EN LA TIERRA
<b>Presión venosa</b>	Igual en todo el cuerpo.	Baja o negativa en las regiones cefálicas, mayor en las regiones caudales.
<b>E.C.G. durante el sueño</b>	Signos de vagotonía.	Vagotonía ocasional acentuada.
<b>Tamaño del corazón</b>	Disminuido.	Normal.
<b>Presión venosa central</b>	Normal.	Normal.
<b>Volumen latido y gasto cardíaco</b>	Disminuidos.	Normales.
<b>Volumen sanguíneo total</b>	Disminuido.	Normal.
<b>Volumen plasmático</b>	Disminuido.	Normal.
<b>Hematocrito</b>	Aumentado.	Normal.
<b>Flujo arterial en miembros inferiores</b>	Disminuido.	Normal.
<b>Circulación central</b>	Congestionada.	Normal.
<b>Ventilación pulmonar</b>	Uniforme en todo el pulmón.	Aumentada en vértices, disminuida en las bases.
<b>Perfusión pulmonar</b>	Uniforme en toda la extensión del pulmón.	Aumentada en las bases, disminuida en los vértices.
<b>Presión arterial pulmonar</b>	Uniforme en toda la extensión del pulmón.	Aumentada en las bases, disminuida en los vértices.
<b>Vascularidad pulmonar</b>	Uniforme.	Acentuada en las bases.

rubicundez del rostro. Además, la apariencia de las venas superficiales se invierte, ahora son más visibles en la frente, la cara y el cuello, y las venas de las extremidades pélvicas se colapsan.

La plétora de la circulación central que se observa en OG estimula los sensores de volumen cardiopulmonares, lo que se traduce por una disminución de volumen plasmático y una reducción apreciable del volumen sanguíneo total; la disminución del tamaño del corazón se atribuye

a que las cavidades cardíacas manejan un menor volumen sanguíneo.

En ingravidez, las vísceras abdominales ya no pesan ni cuelgan del diafragma, éste asciende unos centímetros. El tórax se vuelve más corto, incrementa su diámetro anteroposterior y tiende a volverse cilíndrico. El desplazamiento del diafragma hacia arriba y la desaparición del peso del corazón, hacen que éste también ascienda y se horizontalice; por eso el ápex se localiza por

biente elevada, irritación química o alérgica y rubor emocional.

5. Desplazamiento del ápex hacia arriba: esta situación puede observarse cuando el corazón es rechazado hacia arriba por desplazamiento del diafragma secundario a parálisis frénica, ascitis a tensión, embarazo en el tercer trimestre, obesidad extrema y distensión abdominal por problemas digestivos diversos.
6. Bradicardia durante el sueño: una situación así puede sugerir la existencia de enfermedad del seno o del nodo, bloqueo aurículo-ventricular (AV) completo o simplemente bradicardia sinusal.
7. Presión arterial igual en todo el cuerpo: en la Tierra, en individuos sanos, la presión arterial siempre es mayor en miembros pélvicos; la uniformidad de la presión arterial que se observa en el espacio a expensas de su disminución en los miembros inferiores sugeriría obstrucción parcial de las arterias ilíacas o femorales.
8. Tórax cilíndrico: en la Tierra un tórax de aspecto cilíndrico con espacios intercostales más amplios y diafragma abatido corresponde a un individuo enfisematoso. En OG el tórax se vuelve cilíndrico y los espacios intercostales un poco amplios, lo que sugeriría un tórax de enfisematoso; sin embargo, el diafragma no está abatido, sino elevado.
9. Ascenso del diafragma: el diafragma marca el límite inferior de los pulmones, cualquiera que sea la fase de la respiración. Si mediante la percusión, previamente al lanzamiento, se determina ese límite, se verá que en OG se desplaza unos 5 ó 6 centímetros hacia arriba y una zona de matidez en esa región podría hacer pensar en un derrame pleural o en otra patología pleuropulmonar.
10. Ruidos respiratorios disminuidos en las bases: esta observación clínica se ha hecho durante los vuelos espaciales y se atribuye a la compresión parcial de los pulmones en sus bases, debido a la elevación del diafragma, sin embargo, no existe ninguna alteración en la ventilación. En cambio, en la Tierra sugeriría hipoventilación de diversas causas.
11. Área hepática desplazada hacia arriba: en OG obedece a la elevación del diafragma; en la Tierra podría corresponder a paresia diafragmática derecha, a la existencia de neumoperitoneo, absceso hepático u otra patología que produjera tal desplazamiento.
12. Disminución de la amplitud del pulso arterial en miembros inferiores: en OG se atribuye a la disminución de flujo arterial en estas extremidades. En la Tierra esto correspondería a obstrucción parcial de arterias ilíacas o femorales.

## CONCLUSIONES

Los datos clínicos cardiovasculares normales en la Tierra (1G) no son los mismos que en el espacio exterior. Durante los vuelos espaciales, y debido a un proceso de adaptación del SCV a la OG, el examen físico del sistema corazón-pulmón-vasos ofrece datos muy distintos a los que obtenemos en la Tierra. Cada uno de esos datos, normales en OG, pero valorados con criterio de "cardiología terrestre", serían indicativos de patología cardiovascular y pulmonar severa.

El conocimiento de estos hechos, no sólo tiene interés académico, sino que tiene un valor clínico real, especialmente cuando el uso de la telecardiología espacial sea una práctica común.

Por último, debemos señalar que los cambios adaptativos del SCV que se operan en OG no representan alteraciones permanentes, al menos hasta donde el conocimiento actual nos lo indica. Al regreso a la Tierra ocurre un proceso inverso, ahora de readaptación a 1G, hecho que toma días o semanas, de acuerdo a la duración de la misión espacial. ||

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerospace Medical Association Task Force on Space Travel. Medical guidelines for space passengers. *Aviat Space Environ Med* 2001; 72: 948-50.
- Atkow OY, Bednenko VS, Fomina GA. Ultrasound techniques in space medicine. *Aviat Space Environ Med* 1987; 58 (9): 69-73.
- Blomqvist G. Regulation of the systemic circulation at microgravity and the readaptation to 1G. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28 (Suppl.): S9-S13.
- Buckley JC, Gaffney FA, Lane LD et al. Central venous pressure in space. *NEJ Med* 1993; 328:1853-4.
- Bungo MW, Goldwater DJ, Popp RL, Sandler H. Echocardiographic evaluation of Space Shuttle crewmembers. *J Appl Physiol* 1987; 62: 278-283.
- Cintron MN, Lane HW, Leach CS. Metabolic consequences of fluid shifts induced by microgravity. *Physiologist* 1990; 33: S16-19.
- Charles JB, Bungo MW, Fortner OW. Cardiopulmonary function. En: Nicogossian AE, Huntoon CL, Pool SL, eds. *Space Physiology and Medicine*, 3a. ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1994: capítulo 14.
- Charles JB, Lathers CM. Cardiovascular adaptation to spaceflight. *J Clin Pharmacol* 1991; 31: 1010-1013.
- Churchill SE, Bungo MW. Response of the cardiovascular system to spaceflight. En: Churchill SE, ed. *Fundamentals of Space Life Sciences*, vol. 1. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1997: capítulo 4.
- Fritsch JM, Charles JB, Bennett BS, Jones MM, Eckerberg DI. Short-duration spaceflight impairs human carotid baroreceptors cardiac reflex responses. *J Appl Physiol* 1992; 73 (2): 664-671.
- Fritsch JM, Charles JB, Jones MM, Word ML. Microgravity decreases heart rate and arterial pressure in humans. *Appl Physiol* 1996; 80:910-4.
- Gazenko OG, Schulzhenko EB, Turchaninova VF, Egorov AD. Central and regional hemodynamics in prolonged spaceflight. *Acta Astronautica* 1988; 17: 173-79.
- Grigoriev AI, Ion regulatory function the human kidney in prolonged space flights. *Acta Astronautica* 1981; 8: 987-91.
- Grigoriev AI, Yegorov AD. The effects of prolonged spaceflights on the human body. En: *Advances in Space Biology and Medicine*, Vol. I. Editado por Bonte SL, Greenwich, CT, JAI Press, pp. 1-35, 1991.
- Gundel A, Drescher J, Spatenko YA, Polyakov VV. Changes in basal heart rate in spaceflight up to 438 days. *Aviat Space Environ Med* 2002; 73: 17-23.
- Harris BA. *Physical Examination Handbook (NASA Flight Data File STS-53)*, Houston: Lyndon B. Johnson Space Center, 1993.
- Harris BA, Billica RD, Sheryl LB et al. Physical examination during spaceflight. *Mayo Clin Proc* 1997; 72: 301-308.
- Hoffler GW, Johnson RL. Apollo flight crew cardiovascular evaluation. En: *Biomedical Results of Apollo (NASA SP-368)*. Editado por Johnston RS, Dietlein LF, Berry CA. Washington DC, US Government Printing Office, pp. 227-264, 1975.
- Holland AW. Physiologic adaptation of man in space. *Aviat Space Environ Med* 1987; 58 (9): A 11-A 135.
- Leach CS, Grigoriev AI, Notochin YV. Fluid and electrolyte metabolism on 2-52 week spaceflight. Review of findings. En: *Fluid and Electrolyte Regulation in Spaceflight*. San Diego: Univelt, Incorporated, capítulo 2.
- Mulvagh SL, Charles JB, Riddle JM et al. Echocardiographic evaluation of the cardiovascular effects of short-duration spaceflight. *J Clin Pharmacol* 1991; 31:1024-1026.
- Nicogossian AE, Hoffler GW, Johnson RL, Gowen RJ. Determination of cardiac size from chest roentgenograms following Skylab missions. En: *Biomedical Results from Skylab (NASA SP-377)*. Editado por Johnston RS, Dietlein LF. Washington DC, US Government Printing Office, pp. 400-405, 1977.
- Nicogossian AE, Sawin CF, Huntoon CL. Overall physiologic response to spaceflight. En: Nicogossian AE, Huntoon CL, Pool SL, eds. *Space Physiology and Medicine*, 3a. ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1994: capítulo 11.