

4^o CONGRESO MEXICANO DE MEDICINA Y SALUD ESPACIAL



Adaptación Fisiológica en Microgravedad

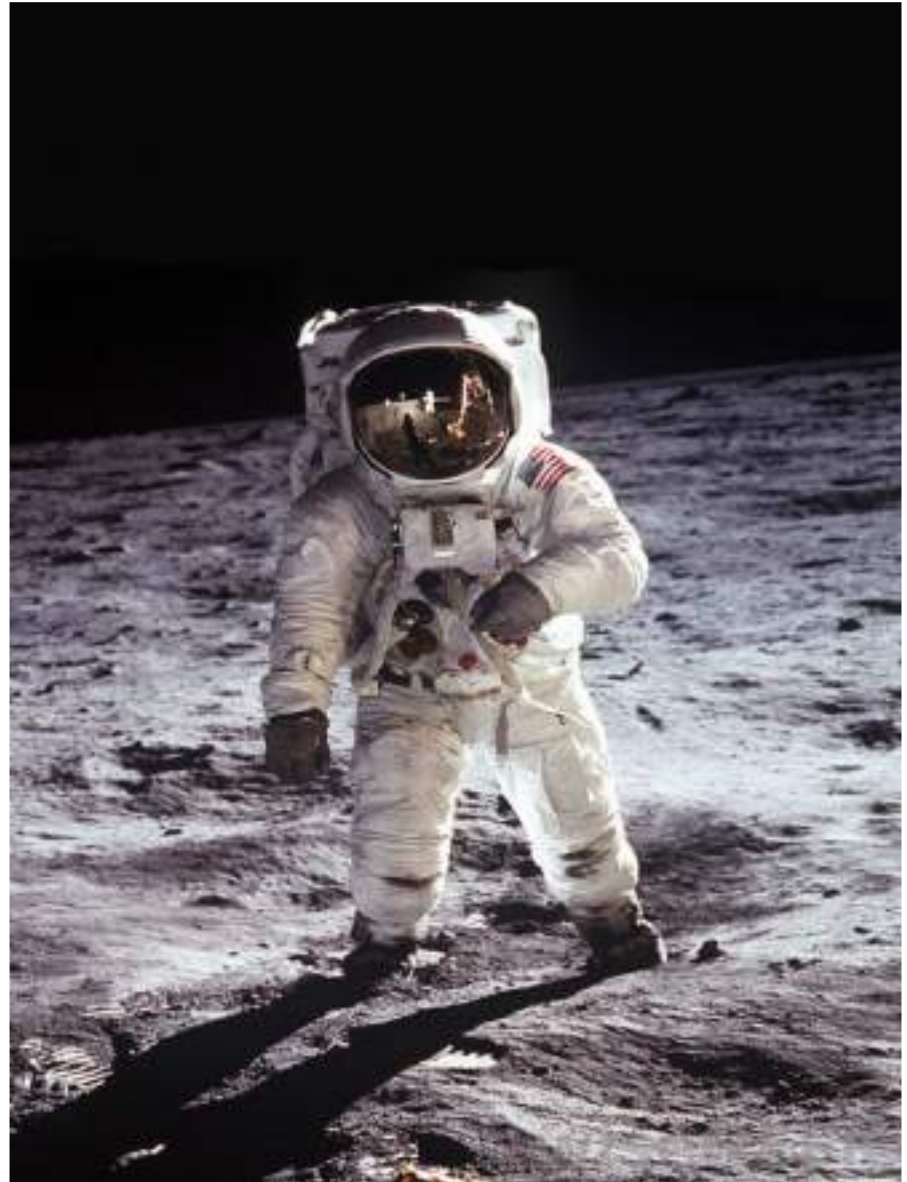
Dr. Marco Antonio Robles Rangel

Hospital de Cardiología

CMN Siglo XXI



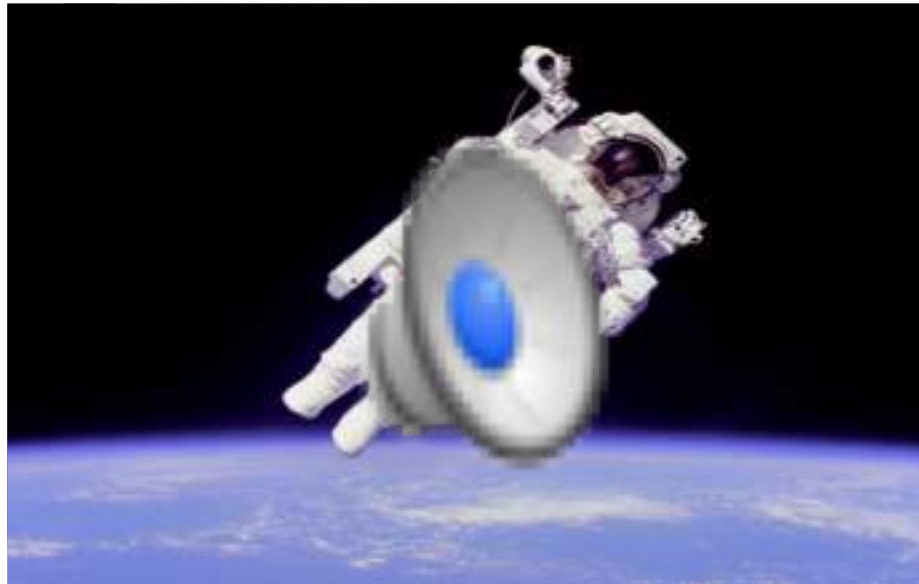
La Exploración del Espacio.





Adaptación en Microgravedad

- Cambios anatómicos y fisiológicos que experimenta el cuerpo humano en un entorno en donde la fuerza de gravedad es imperceptible.
- Ambiente circunscrito a la órbita terrestre. En el pasado, incluía el trayecto entre la Tierra y la Luna y la órbita lunar.
- La percepción de ausencia de gravedad se ha denominado **ingravidez, gravedad cero o microgravedad**.



Cambios fisiológicos en microgravedad

Cardiovascular

Muscular

Óseo

Neurológico

Hematológico

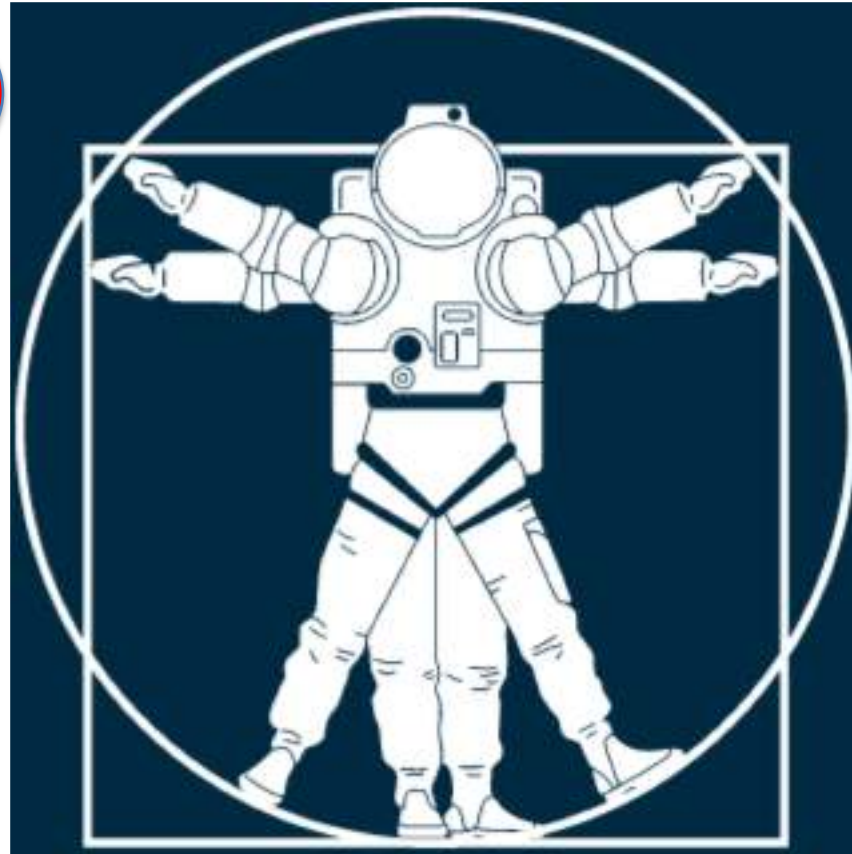
Inmunológico

Psicológico

Digestivo /
Endócrino

Urológico

Pulmonar

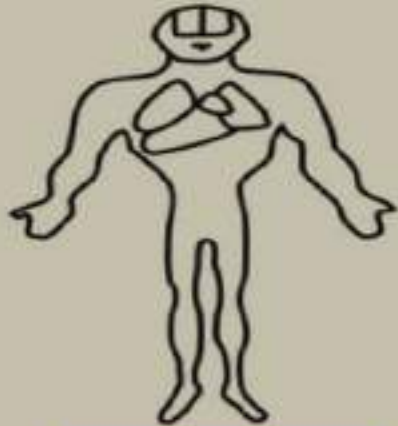


Cardiovascular

- Migración de líquidos hacia la parte superior del cuerpo (2 litros) → ↑ del volumen sanguíneo al tórax y ↓ volumen sanguíneo en extremidades inferiores.
- Incremento del volumen latido → aumento del gasto cardiaco: 18-26% // 35-41%.



En la Tierra (1 G)



Estadio inicial en el espacio



Postadaptación a la microgravedad



Periodo inmediato posterior al retorno del espacio



Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight

Peter Norsk^{1,2}, Ali Asmar^{2,3}, Morten Damgaard⁴ and Niels Juel Christensen⁵

¹Division of Space Life Sciences, Universities Space Research Association (USRA) & Biomedical Research & Environmental Sciences Division, NASA/Johnson Space Center, Houston, TX, USA

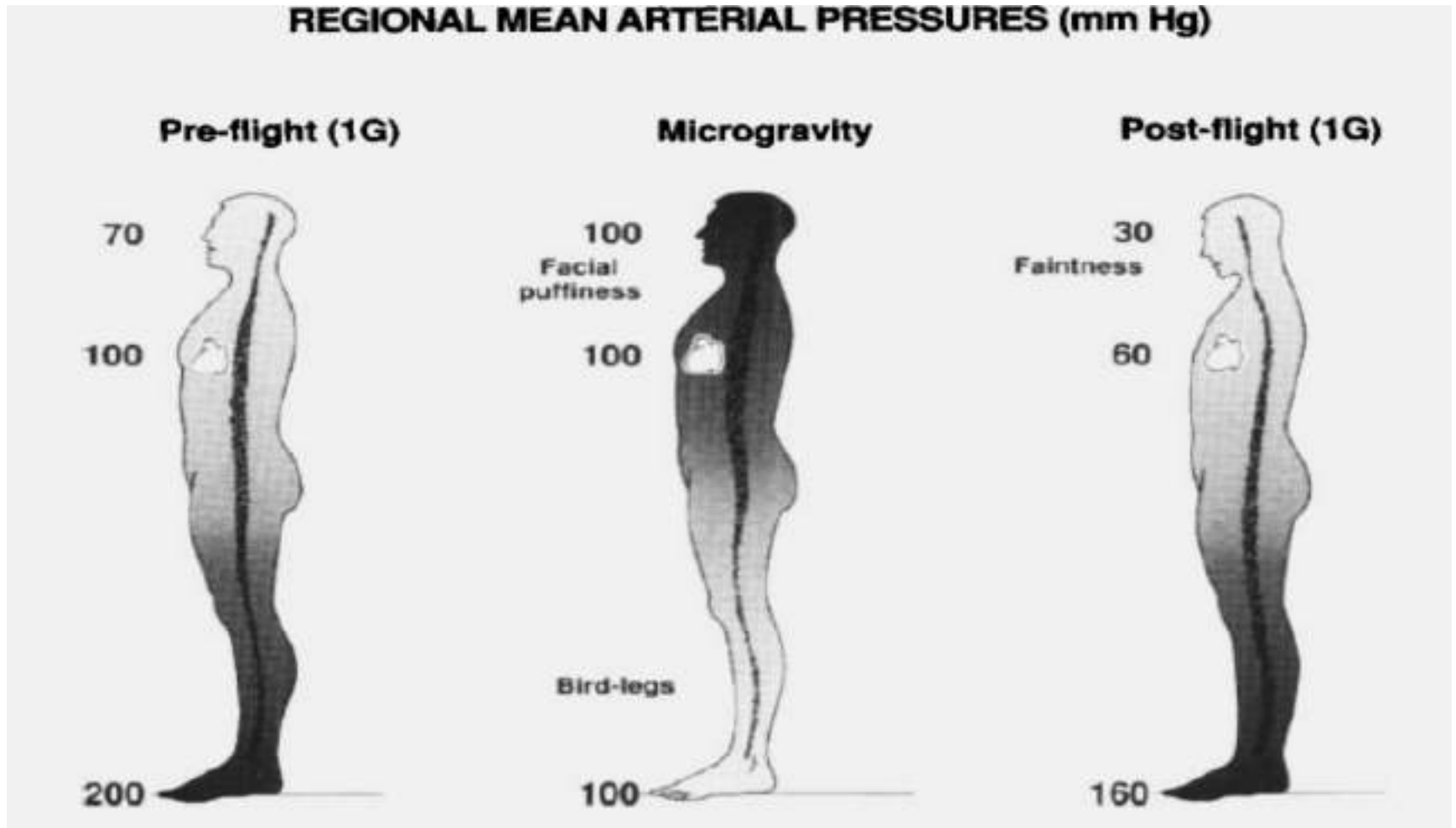
CMAJ 2009;180(13):1317-1323

J Physiol 2015;593(3):573-584

Cardiovascular

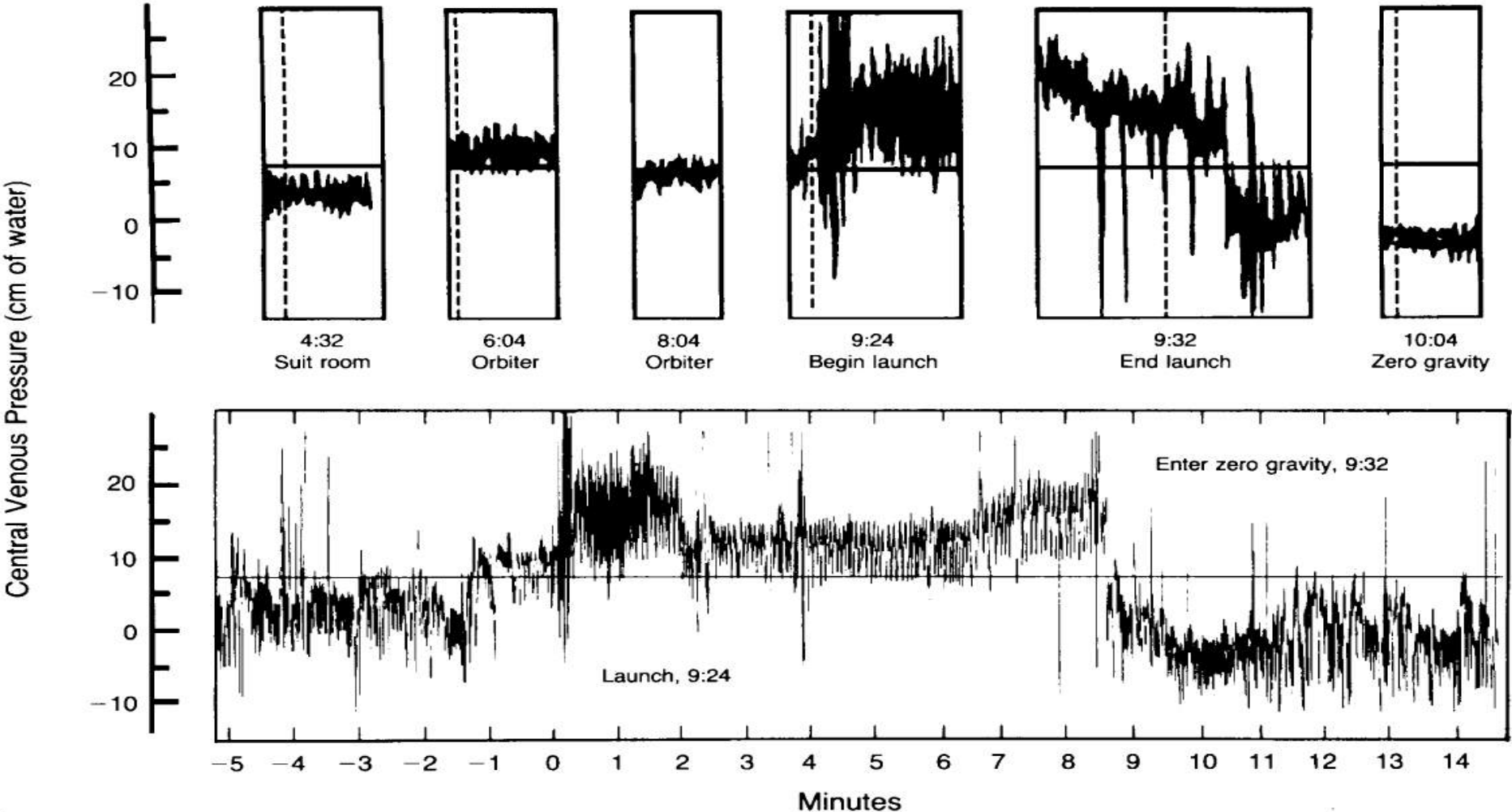
- Presión arterial sistémica dentro de valores normales. Homogénea.
- Vasodilatación arterial → disminución de las resistencias sistémicas: 39%.

REGIONAL MEAN ARTERIAL PRESSURES (mm Hg)



Cardiovascular

CENTRAL VENOUS PRESSURE IN SPACE



Cardiovascular

- El corazón adquiere una forma esférica.



ACC.14

10TH ACC-14 | Innovation in Intervention

A1096
JACC April 1, 2014
Volume 63, Issue 12



Non Invasive Imaging

AFFECT OF MICROGRAVITY ON CARDIAC SHAPE: COMPARISON OF PRE- AND IN-FLIGHT DATA TO MATHEMATICAL MODELING

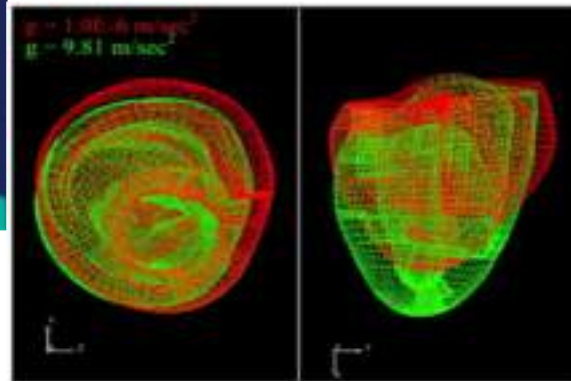
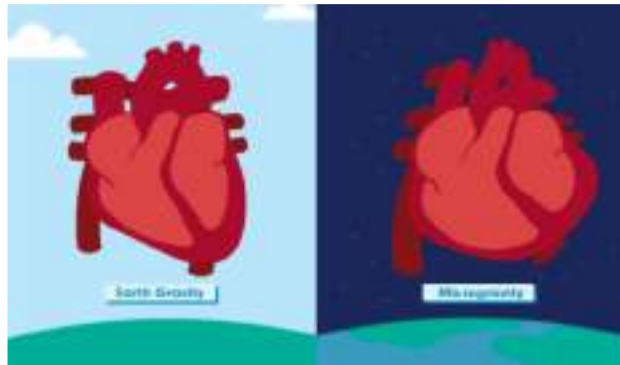


Figure 1: European astronaut Frank De Winne performs echocardiography on Robert Thirsk, MDCM. This experiment investigated cardiovascular adaptation to weightlessness.

Muscular

↓ de la fuerza y masa muscular (50% y 30% respectivamente).

J Physiol Sci
DOI 10.1007/s12576-016-0514-8

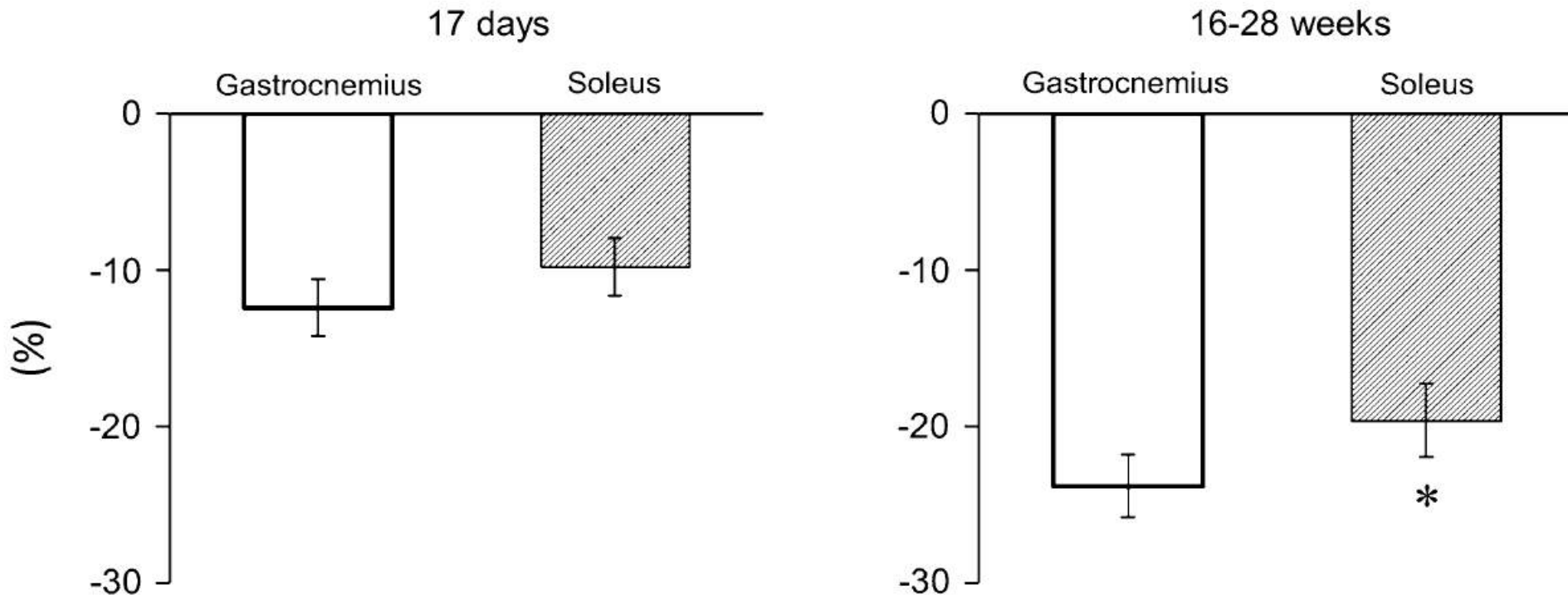


REVIEW

Adaptation to microgravity, deconditioning, and countermeasures

Kunitiko Tanaka¹ · Naoki Nishimura² · Yasuaki Kawai³

Changes in Muscle Volume





Cycle Ergometer with Vibration Isolation System (**CEVIS**)



Combined Operational Load Bearing External Resistance Treadmill (**COLBERT/ TEVIS**)



Advanced Resistive Exercise Device (**ARED**)

Óseo

↓ de la densidad ósea (1-2% por mes) → ↑ resorción de calcio por osteoclastos, función alterada de los osteoblastos y ↓ en la producción de vitamina D.

J Physiol Sci
DOI 10.1007/s12576-016-0514-8



REVIEW

Adaptation to microgravity, deconditioning, and countermeasures

Kunitiko Tanaka¹ · Naoki Nishimura² · Yasuaki Kawai³

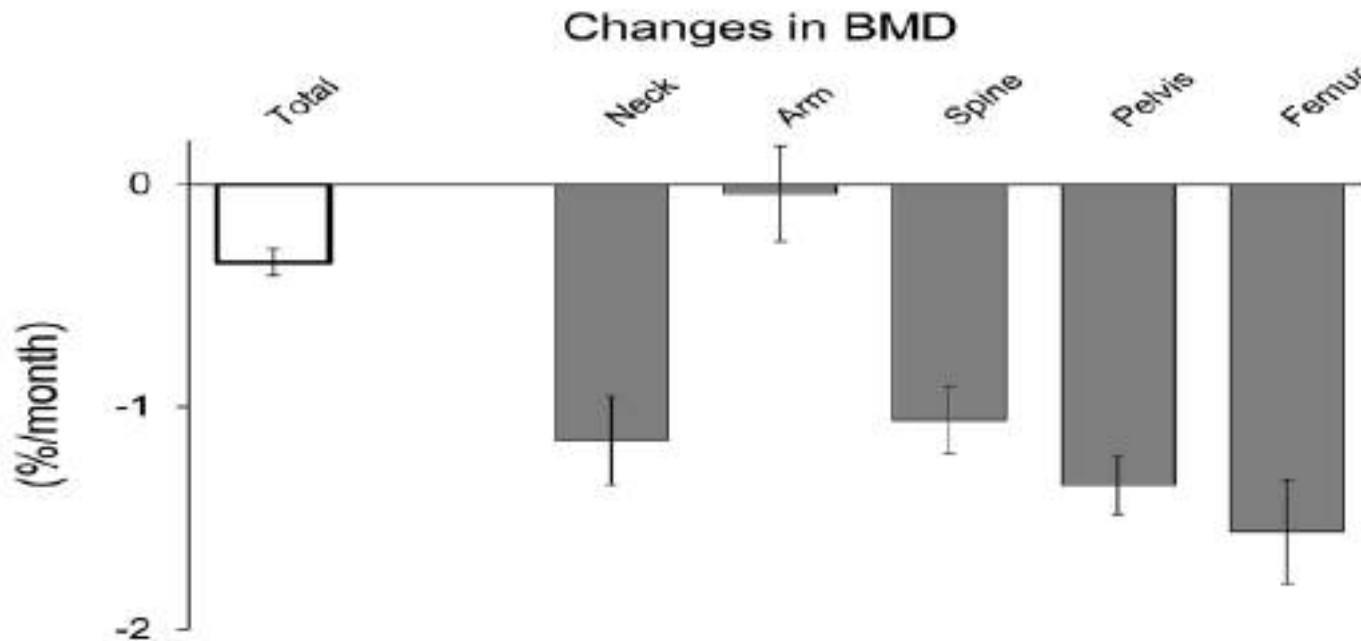


Fig. 3 Changes in bone mineral density (BMD) of various portions of astronauts after 4–14.4 months of spaceflight (drawn from data in Ref. [44])



Neurológico

- **Mareo espacial por conflicto vestibular, somato-sensorial y visual.**



- Experimentado por el 60 a 80% de los viajeros espaciales en los primeros 2 a 3 días en microgravedad.
- Similar proporción durante los primeros días al regreso a la Tierra.

- **Mareo espacial por conflicto vestibular, somato-sensorial y visual.**



Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical 129 (2006) 77–79

AUTONOMIC
NEUROSCIENCE:
Basic & Clinical

www.elsevier.com/locate/autneu

Short communication

Space motion sickness: Incidence, etiology, and countermeasures

Martina Heer^{a,*}, William H. Paloski^b

^a *DLR-Institute of Aerospace Medicine, 51170 Köln, Germany*

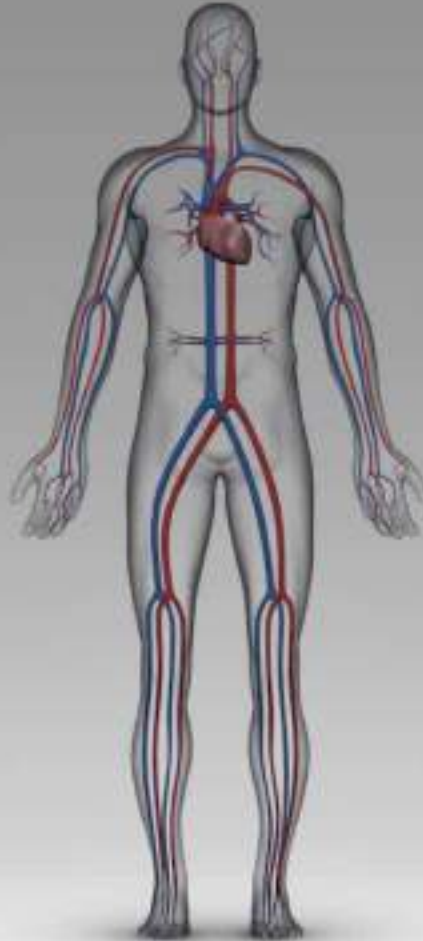
^b *NASA Johnson Space Center, Houston, TX, USA*

- **Mareo, Nausea**
- Vómito (86%)
- Anorexia (78%)
- Cefalea (64%)
- Sensación de plenitud (61%)
- Malestar general (58%)

- Tratamiento farmacológico en el 47% de los casos.
- Metoclopramida (oral).
- Escopolamina (transdérmica).
- **Prometazina (intramuscular).**

Neurológico

- Alteraciones oculares por \uparrow de la presión intracraneal: Antes: *VIIP Syndrome.- Visual Impairment and Intracranial Pressure.* Ahora: *SANS.- Space Flight-Associated Neuro-ocular Syndrome.*





“Some of these changes in some of the astronauts do not correct themselves after the mission.”

Otto C. NASA's Visual Impairment & Intracranial Pressure Risk.

- Astronauts de la EEI:
15.4-21.3 mmHg (21-29 cmH₂O)

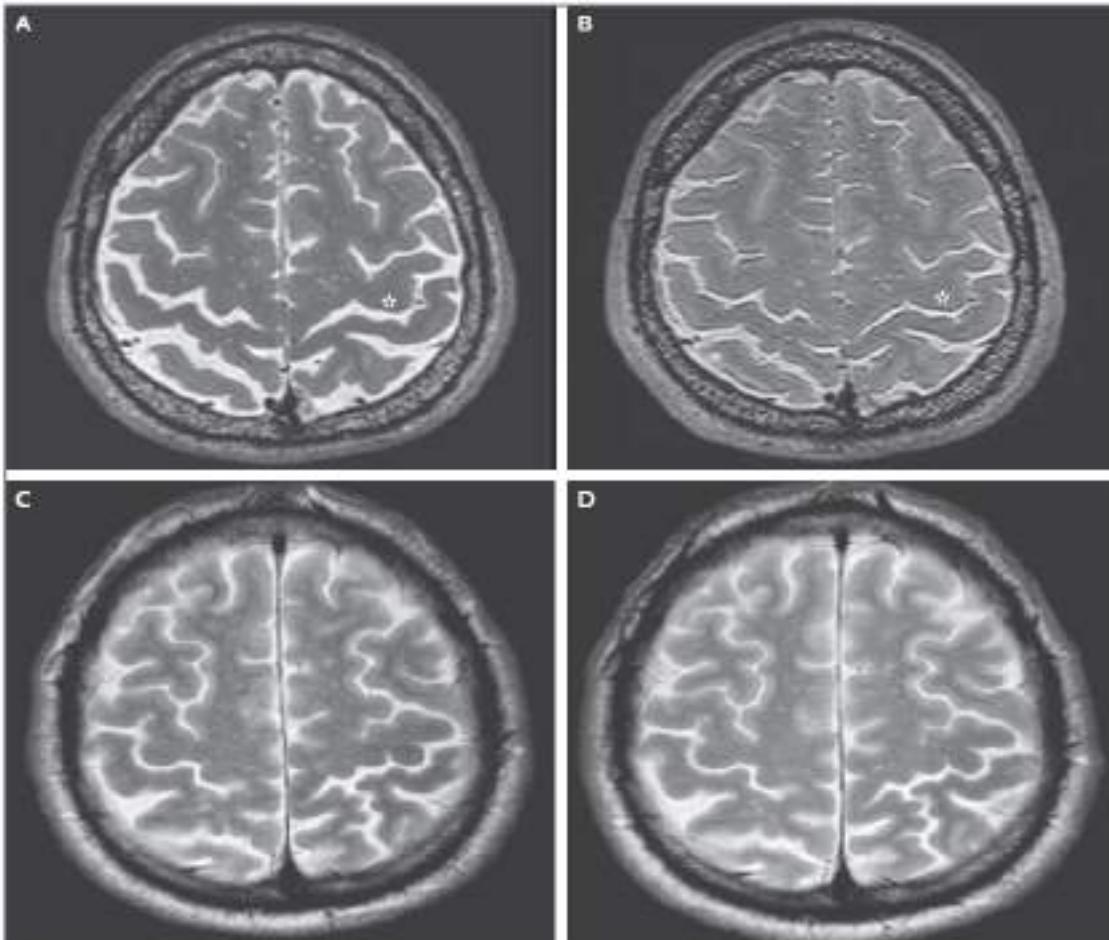


PIC Valores normales:

- 7-15 mmHg
- 9.5-20.4 cmH₂O

Effects of Spaceflight on Astronaut Brain Structure as Indicated on MRI

Donna R. Roberts, M.D., Moritz H. Albrecht, M.D., Heather R. Collins, Ph.D., Davud Asermani, Ph.D., A. Rano Chatterjee, M.D., M. Vittoria Spampinato, M.D., Xun Zhu, Ph.D., Marc I. Chimowitz, M.B., Ch.B., and Michael U. Antonucci, M.D.



34 Astronautas:

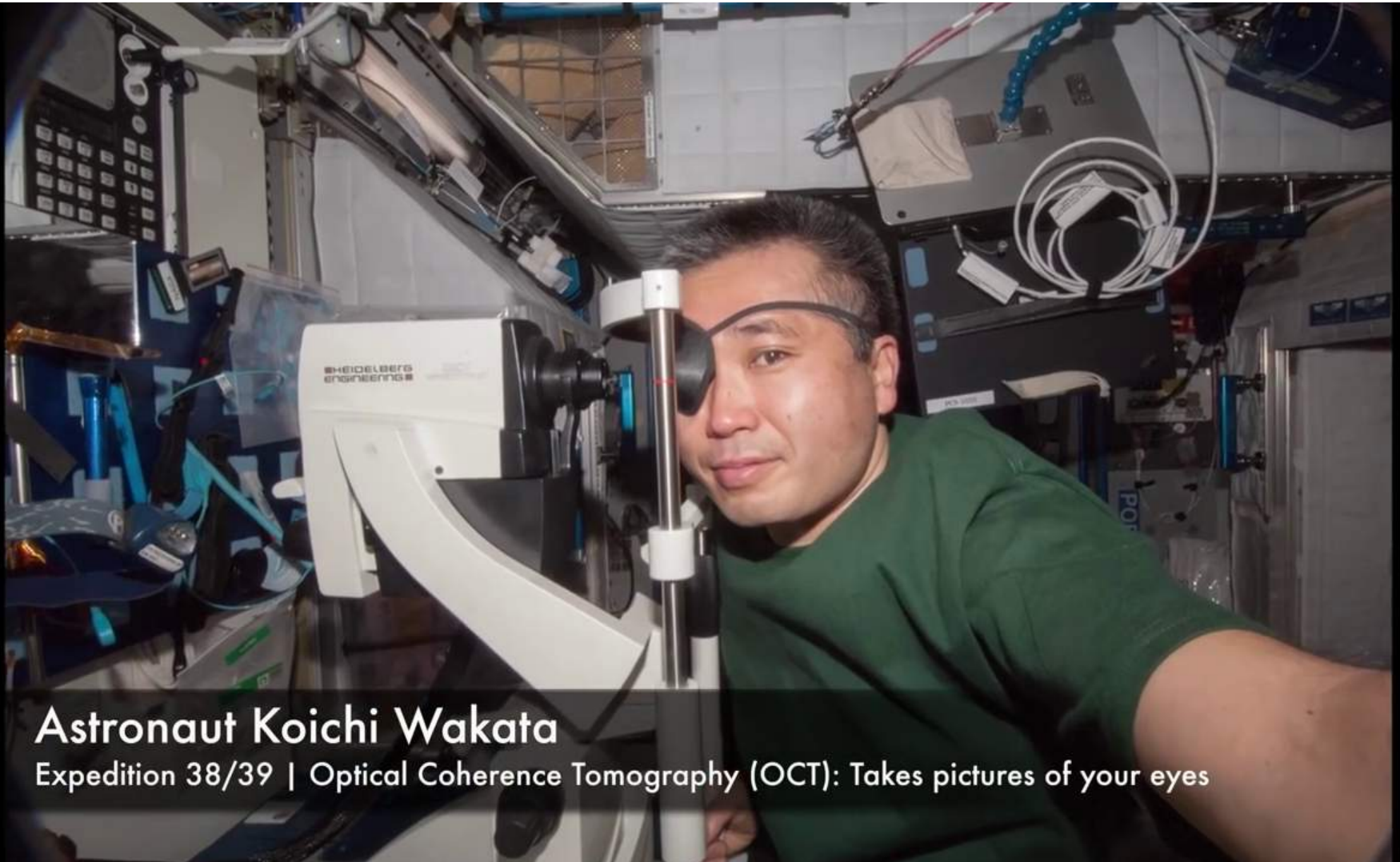
- 18: misión de larga duración.
- 16: misión de corta duración.

Misión de larga duración:

- Desplazamiento del cerebro hacia arriba.
- Estrechamiento del surco central (94% vs. 19%).
- Estrechamiento del espacio subaracnoideo.
- ↑ en el volumen del sistema ventricular (11% vs 0.04%)
- Edema de disco óptico (3 astronautas = 17%).

Neurológico

- Alteraciones oculares por \uparrow de la presión intracraneal: Antes: *VIIP Syndrome.- Visual Impairment and Intracranial Pressure.* Ahora: *SANS.- Space Flight-Associated Neuro-ocular Syndrome.*



Astronaut Koichi Wakata

Expedition 38/39 | Optical Coherence Tomography (OCT): Takes pictures of your eyes

Neurológico

- Alteraciones oculares por \uparrow de la presión intracraneal: Antes: *VIIP Syndrome.- Visual Impairment and Intracranial Pressure.* Ahora: *SANS.- Space Flight-Associated Neuro-ocular Syndrome.*

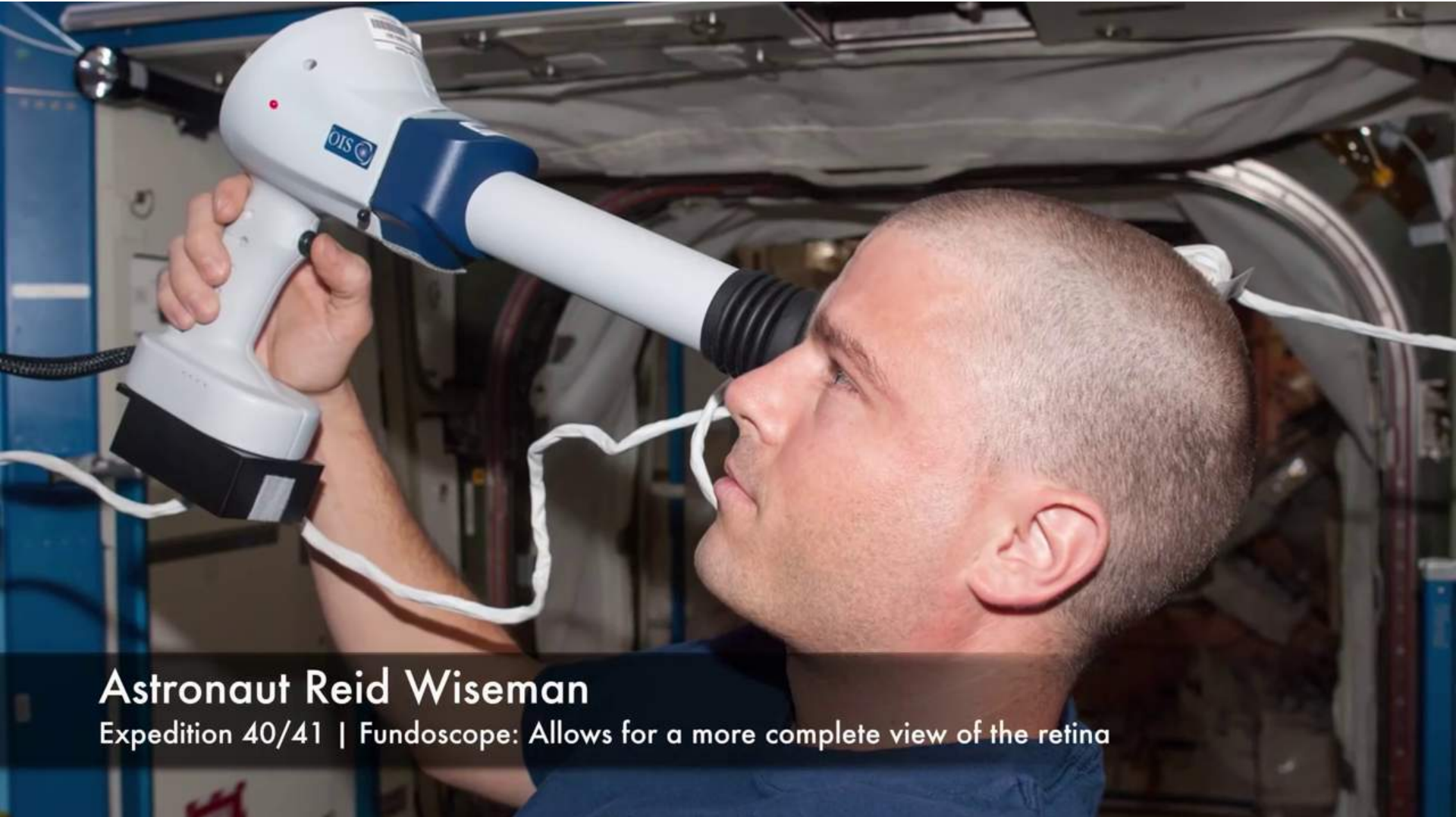


Astronauts Tom Marshburn and Chris Hadfield

Tonometry Eye Exam on the ISS - Tonometry Measures Intraocular Eye Pressure

Neurológico

- Alteraciones oculares por \uparrow de la presión intracraneal: Antes: *VIIP Syndrome.- Visual Impairment and Intracranial Pressure.* Ahora: *SANS.- Space Flight-Associated Neuro-ocular Syndrome.*



Astronaut Reid Wiseman

Expedition 40/41 | Fundoscope: Allows for a more complete view of the retina

Neurológico

- Alteraciones oculares por \uparrow de la presión intracraneal: Antes: *VIIP Syndrome.- Visual Impairment and Intracranial Pressure.* Ahora: *SANS.- Space Flight-Associated Neuro-ocular Syndrome.*



Astronauts Samantha Cristoforretti & Terry Virts
Expedition 41/42 | Ultrasound of the eye

Neurológico

- Alteraciones oculares por \uparrow de la presión intracraneal: Antes: *VIIP Syndrome.- Visual Impairment and Intracranial Pressure.* Ahora: *SANS.- Space Flight-Associated Neuro-ocular Syndrome.*

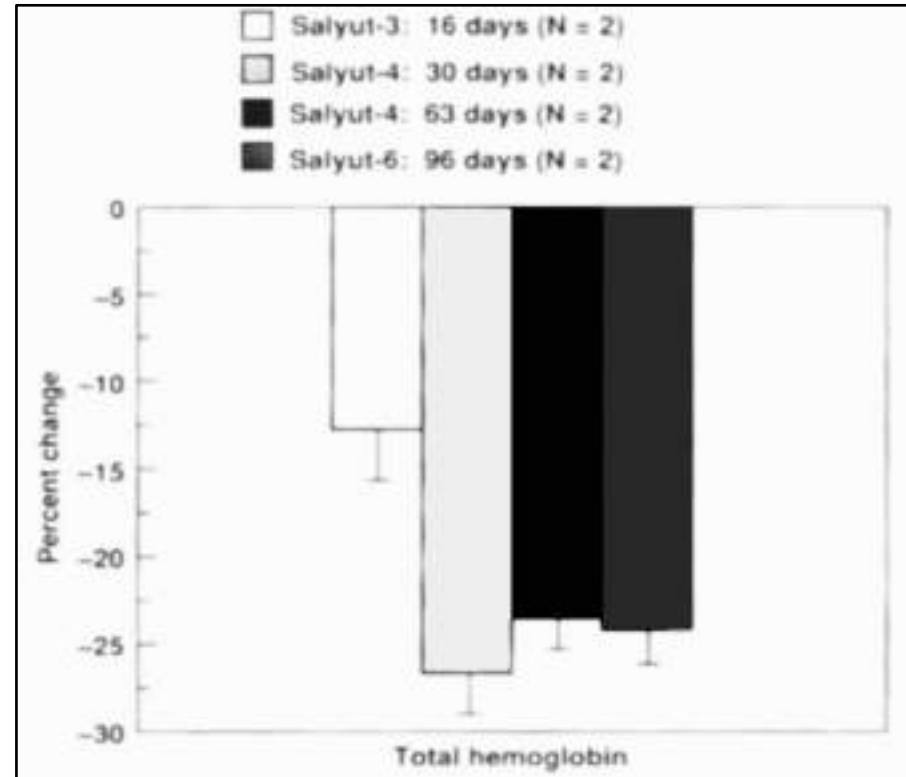
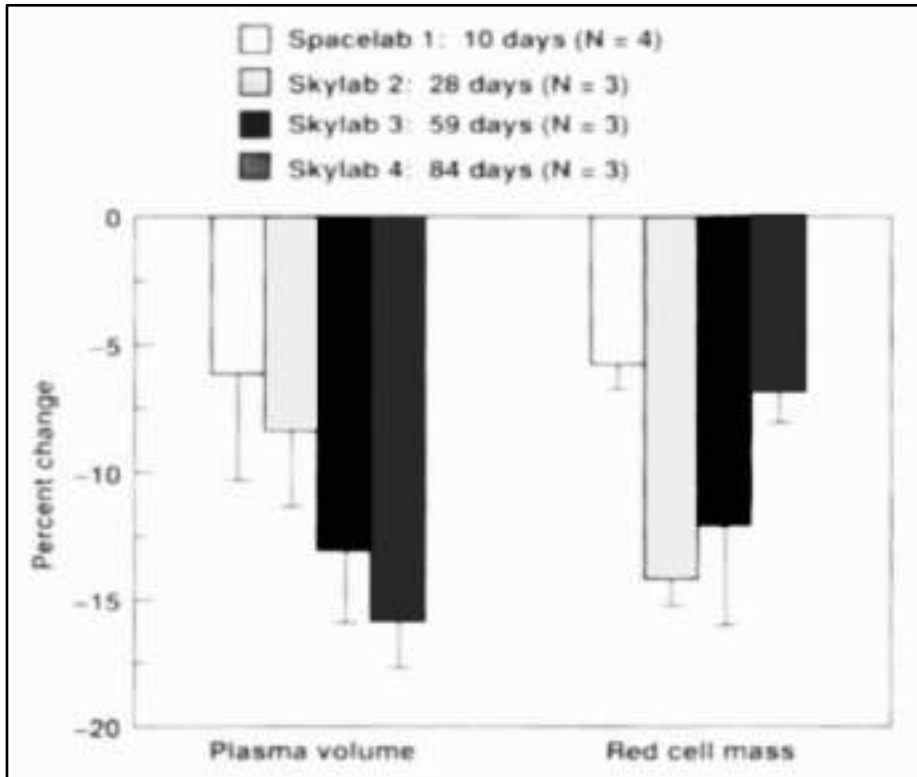


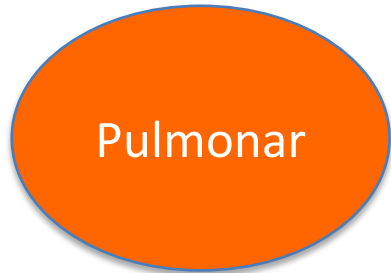
Cosmonaut Roman Romanenko

Expedition 20/21 & 34/35 | Chibis: Russian Lower Body Negative Pressure (LBNP) Suit

Hematológico

- ↓ eritropoyetina → ↓ eritrocitos → “anemia espacial”
 - ↓ de volumen plasmático (17%)



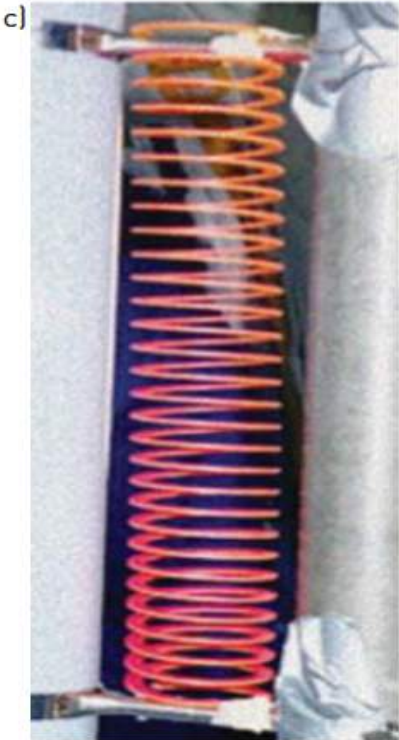
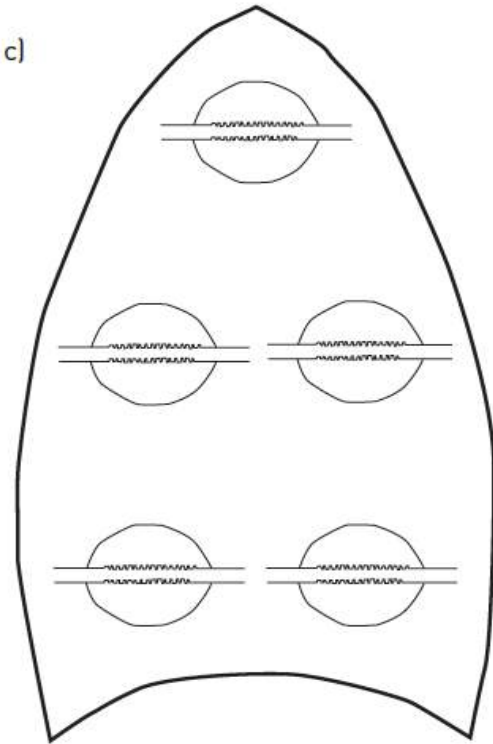
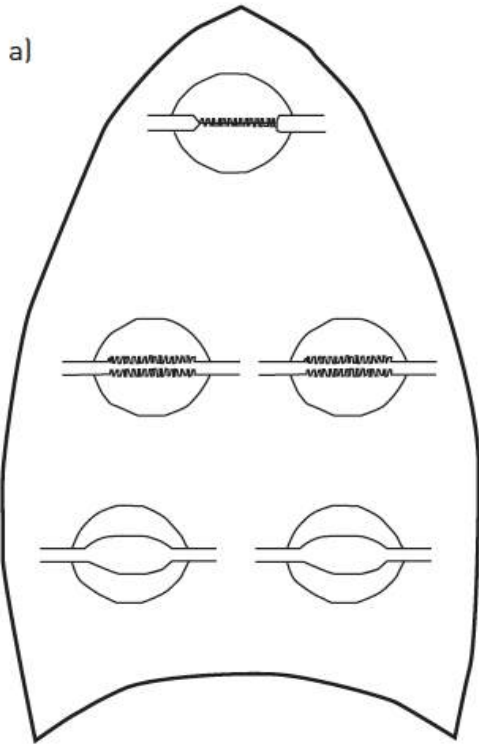


Ventilación y perfusión homogéneas.

Microgravity and the respiratory system

G. Kim Prisk^{1,2}

Number 5 in the Series "Physiology in Respiratory Medicine"
Edited by R. Naeije, D. Chemla, A. Vonk-Noordegraaf and A.T. Dinh-Xuan



Inmunológico

- Disregulación del sistema inmune. Reactivación de virus (Herpes, Epstein-Barr) → Predisposición a procesos infecciosos.
- Incremento en la resistencia bacteriana.

Urológico

Riesgo incrementado de litiasis renal por ↑ en la excreción de calcio (60%-70%).

Abnormality	Preflight	Postflight
Hypercalciuria (>250 mg/d)	20.8%	38.9%
Hypocitraturia (<320 mg/d)	6.9%	14.6%
Hypomagnesuria (<60 mg/d)	6.0%	15.8%
Urinary supersaturation (> 0)		
Calcium oxalate	25.6 %	46.2 %
Uric Acid	32.8 %	48.6 %
Brushite	19.3 %	13.1 %
Sodium urate	44.9 %	25.8 %



Digestivo /
Endócrino

Síntomas relacionados con el mareo espacial. Sin otros relevantes.

Psicológico

Fatiga, deuda de sueño,
aislamiento, ansiedad. Estrés
de los familiares de los
astronautas.

CMAJ 2009;180(13):1317-1323

Nutrition 2002;18:889-898

<https://www.nasa.gov/hrp/bodyinspace>

<https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/Renal%20Stone.pdf>



NASA's 2017 Astronaut Class



Número de aspirantes: 18 300

<https://www.nasa.gov/press-release/record-number-of-americans-apply-to-beanstronaut-at-nasa>



Programa Espacial de Investigación Humana



Human Research Program How Astronauts are Affected by Space Exploration



Bone



Sensory Motor



Muscle



Cardiovascular



Radiation



Exercise



Sleep Cycle



Food & Nutrition



Medical Care

GOALS OF HRP





Twins Study

Scott Kelly

Mark Kelly



Twins Study

Resultados parciales

Scott Kelly (gemelo en el espacio)

Decremento en la formación de tejido óseo

Incremento en la longitud de los telómeros de los cromosomas en los glóbulos blancos → aumento de ejercicio y reducción de la ingesta calórica

Más de 200 000 moléculas de RNA tuvieron un expresión diferente en su secuencia genética → ¿Gen espacial?

Variabilidad en el nivel de metilación del ADN → Sensibilidad genética a los cambios ambientales



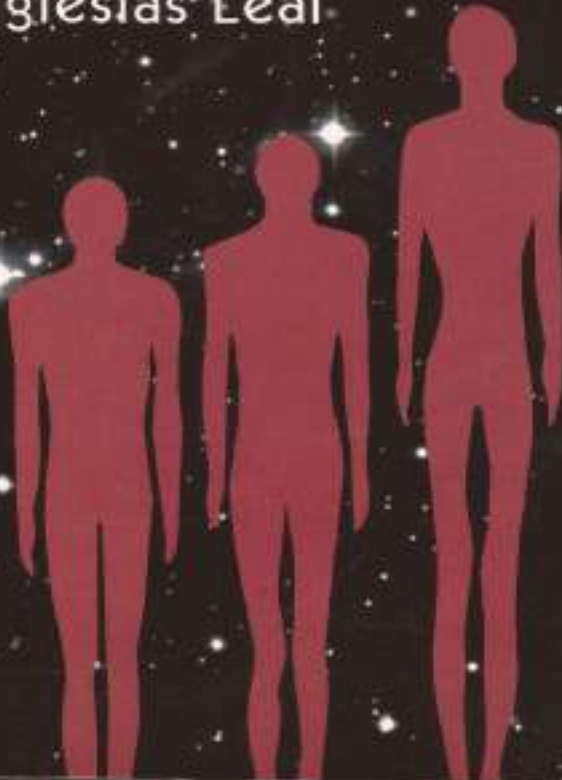
Obra galardonada con el Premio
LUIGI NAPOLITANO LITERATURE AWARD
otorgado por la International Academy of Astronautics

La ruta hacia el hombre cósmico

Ramiro Iglesias Leal



LIMUSA



Dr. Ramiro Iglesias Leal



Perfil anatómico del hombre cósmico.

Incremento de la estatura (columna larga y recta).

Cara rubicunda y ancha.

Cuello largo, ancho y con dilatación venosa.

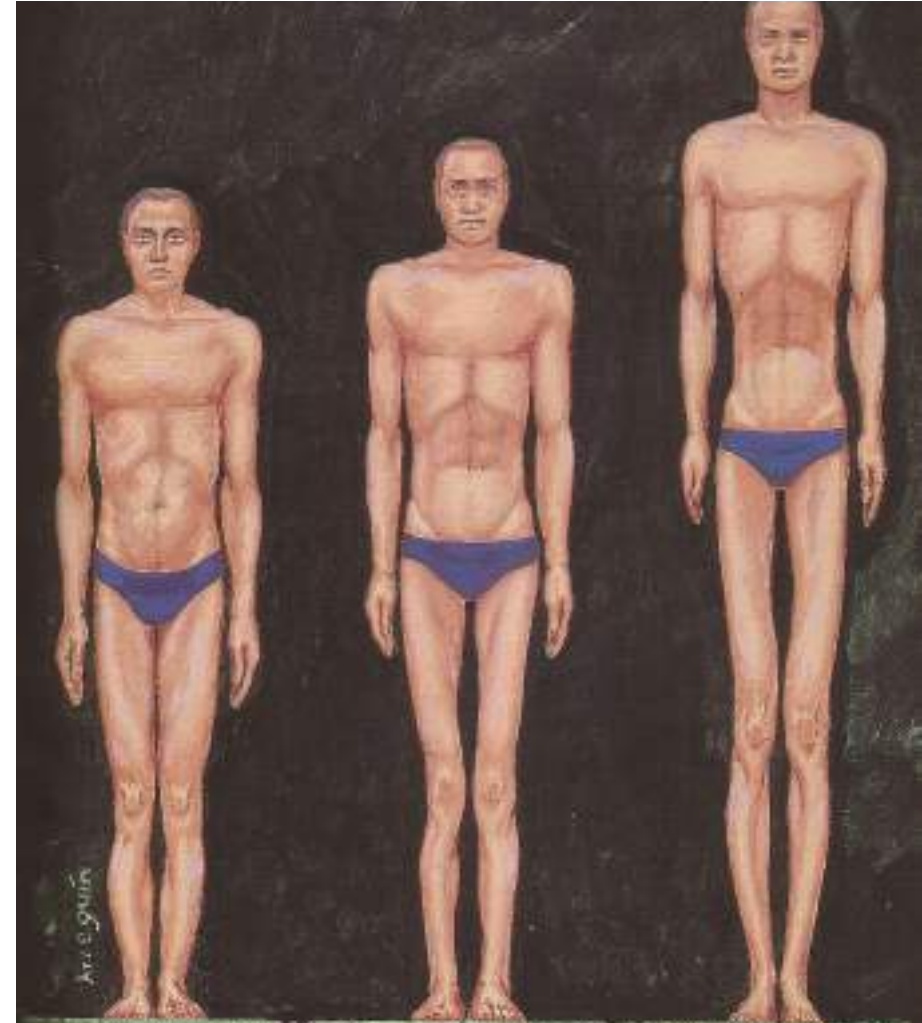
Tórax corto y ancho.

Abdomen poco prominente.

Músculos paravertebrales y glúteos poco desarrollados.

Extremidades inferiores largas y delgadas.
Atrofia muscular.

Pies pequeños. Desarrollo de mecanismos de prensión.





Perfil fisiológico del hombre cósmico.

Desaparece el caminar.

Atrofia de músculos antigravitatorios.
Menor densidad ósea (predisposición a fracturas en gravedad terrestre).

Mayor desarrollo cerebral → Incremento de flujo sanguíneo cerebral.

Reproducción → ???

Niños “cósmicos” → Crecimiento más acelerado. Cambios anatómicos más acentuados.

Retraso en el envejecimiento → Menor carga de trabajo físico, menor impacto de los procesos degenerativos óseos. Ausencia de arrugas en cara y cuello.



Perfil patológico del hombre cósmico.

Enfermedades que desaparecerán	Enfermedades que se agravarán
Várices y úlceras varicosas de las piernas	Cáncer (radiación).
Úlceras de decúbito	Alteraciones genéticas (radiación).
Ptosis viscerales (p.ej. cistocele)	Infecciones bacterianas
Hipotensión ortostática y síncope	Litiasis renal
Trauma por caídas.	
Problemas de la columna vertebral y las articulaciones	
Limitaciones secundarias a discapacidad motora	

A STANLEY KUBRICK PRODUCTION



The Ultimate Trip.

2001 A SPACE ODYSSEY

Starring KEEL SULLIVAN · GARY LOCKWOOD
Screenplay by STANLEY KUBRICK And ARTHUR C. CLARKE · Produced and Directed by STANLEY KUBRICK
© 1968 MCA/Universal and WARNER BROS. Theatrical Group

Conclusiones

La adaptación al vuelo espacial es un proceso complejo que involucra a varios órganos y sistemas.

La mayoría de los efectos fisiológicos se resuelven después del regreso a la Tierra. La desmineralización ósea y la disfunción visual pueden ser una consecuencia permanente de una misión espacial de larga duración.

El ejercicio regular durante el vuelo espacial es esencial para atenuar los efectos negativos sobre los sistemas cardiovascular, muscular y óseo al retorno al ámbito terrestre.

Las medidas para mitigar los riesgos médicos de un viaje espacial de larga duración están siendo evaluados en la Estación Espacial Internacional.