

ISSN electrónico: 1585-5210

DOI: <https://doi.org/10.14201/rmc2021174337350>

EFFECTOS FISIOLÓGICOS EN UN AMBIENTE DE MICROGRAVEDAD: *HORIZONTE FINAL (1997)*

Physiological effects in a microgravity environment: Event Horizon (1997)

Isabel PRIETO-GÓMEZ¹; Manuel RAMÍREZ-SÁNCHEZ¹; Germán DOMÍNGUEZ-VÍAS²

¹Área de Fisiología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén (España).

²Departamento de Fisiología. Facultad de Ciencias de la Salud, Ceuta. Universidad de Granada (España).

Autor para la correspondencia: Germán Domínguez-Vías.

Correo electrónico: germandv@go.ugr.es

Ficha técnica

Título original: *Event Horizon*.

País: EE.UU., Reino Unido.

Año: 1997.

Director: Paul W. S. Anderson.

Música: Michael Kamen.

Fotografía: Adrian Biddle.

Montaje: Martin Hunter.

Guión: Philip Eisner.

Intérpretes: Laurence Fishburne, Sam Neill, Kathleen Quinlan, Joely Richardson, Jason Isaacs, Peter Marinker, Jack Noseworthy, Richard T. Jones, Sean Pertwee, Holley Chant, Noah Huntley, Emily Booth, Robert Jezek, Barclay Wright.

Color: color.

Duración: 96 minutos.

Género: ciencia ficción, terror, thriller.

Idioma original: inglés, latín.

Productora: Paramount Pictures.

Sinopsis: En el año 2047, la nave de rescate «Lewis and Clark» es enviada a investigar la misteriosa reaparición en la órbita de Neptuno de

una nave experimental, la «Horizonte Final», desaparecida años antes con toda su tripulación. En el año 2040, la nave «Horizonte Final» fue lanzada al espacio para explorar los confines del universo, pero desapareció sin dejar rastro. Mientras la misión de rescate intenta averiguar cuál ha sido el destino de los desaparecidos, a bordo de la nave tienen lugar extraños sucesos. (FILMAFFINITY).

Disponibilidad: *Horizonte Final* (Blu-Ray). Paramount Pictures; 2009.

Enlaces:

<https://www.filmaffinity.com/es/film622455.html>

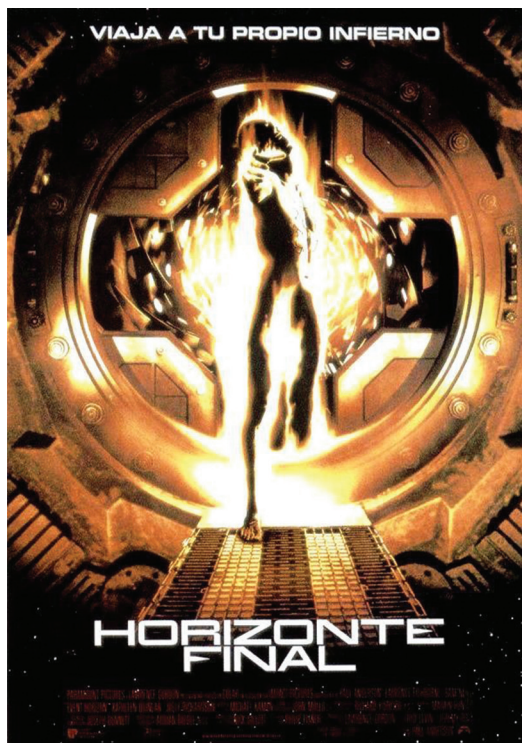
https://www.imdb.com/title/tt0119081/?ref_=vp_back

Tráiler en español

Tráiler VO: https://www.filmaffinity.com/es/evideos.php?movie_id=622455

https://www.imdb.com/video/vi1179583001?playlistId=tt0119081&ref_=tt_ov_vi

Acción: Órbita de Neptuno. Época futura (2047).



Cartel español.



Fotograma 1. Condiciones de «ingravidez» o «gravedad cero» representan un ambiente de estrés para los seres humanos. La falta de orientación y de referencia visual provoca el denominado «mareo por movimiento espacial».



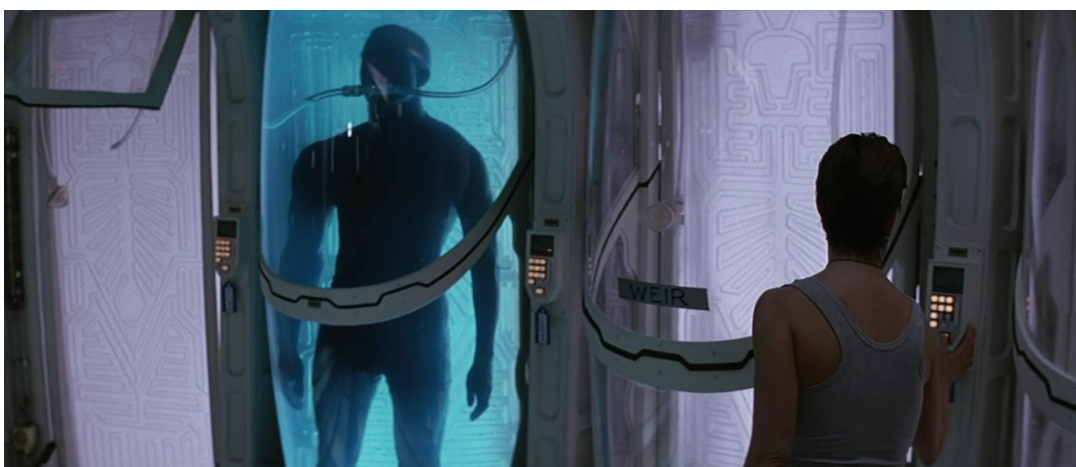
Fotograma 2.A. La nave espacial, llamada «Event Horizon», presenta desconexión del sistema de gravedad artificial y de las unidades térmicas, manifestando un ambiente de ingravidez e hipotermia.



Fotograma 2.B. Claros indicios de congelamiento en el cadáver del astronauta.



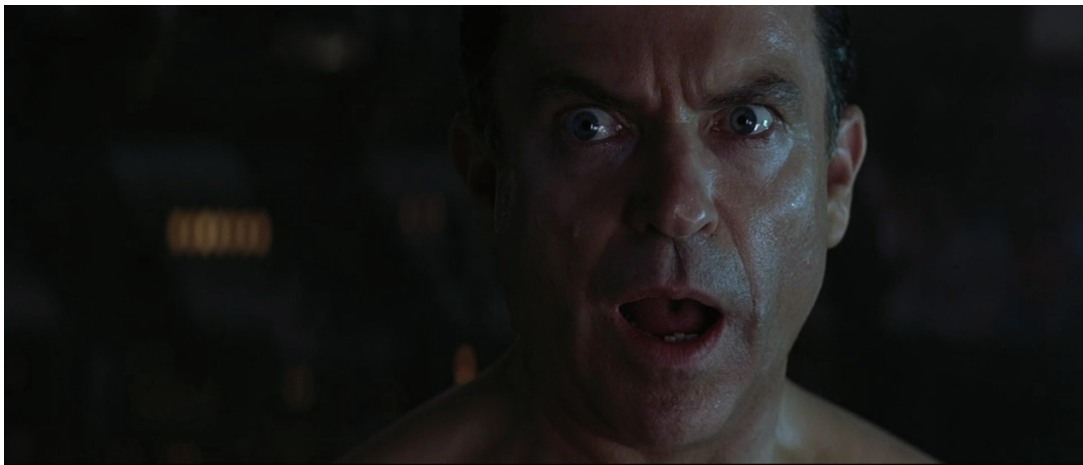
Fotograma 3. Un estado inducido de ralentización o supresión metabólica para los astronautas en misiones al espacio profundo puede proporcionar un estado radioprotector biológico debido a un metabolismo disminuido y condiciones hipotérmicas, proceso similar al letargo que facilitaría la estasis del pasajero (estado de hipersueño o hibernación) y aligerar la carga y suministros en el transporte espacial.



Fotograma 4. Las grandes aceleraciones de un viaje espacial provocarían una fuerza de gravedad tan elevadas sobre áreas extensas del cuerpo humano que no podrían ser soportadas, de manera que al vencerse la resistencia o elasticidad del hueso aparecerían fracturas óseas por estallido y la muerte, definido en el film como «una licuación del esqueleto». El film resuelve ese problema con el diseño de cámaras gravitatorias de estasis para largas travesías, que actuarían como amortiguadores o colchones líquidos para soportar, en sumersión, los diferentes tipos de aceleraciones.



Fotograma 5. Junto con los filtros de aire y dióxido de carbono (CO_2) propios del sistema de transporte espacial, las cámaras de estasis disponen también de soporte vital y contactores para desgasificación, que permite la eliminación de oxígeno (O_2), CO_2 y burbujas.



Fotograma 6. La constante revisión de los depuradores de CO_2 al salir de la estasis evita elevadas concentraciones de CO_2 y la aparición de alucinaciones, alteraciones de la realidad y desorientación tras el viaje.



Fotograma 7. La explosión de tanques de O₂ en ingravidez permite el avance del fuego en todas las direcciones.



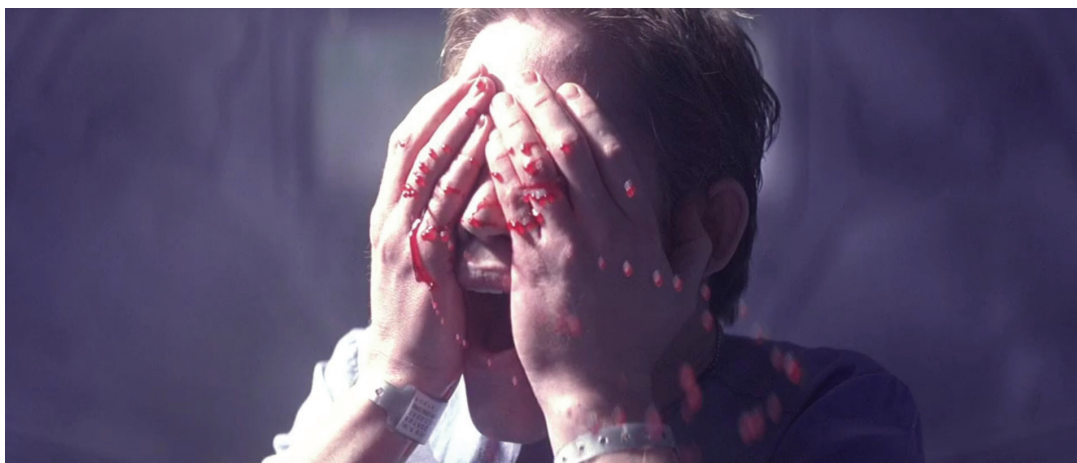
Fotograma 8. El astronauta Justin en estado catatónico se encierra en la esclusa de descompresión sin traje espacial.



Fotograma 9. Secuencia de descompresión activada. En la esclusa, la puerta interior no se podría abrir cuando la exterior ha sido activada, descomprimiría toda la nave.



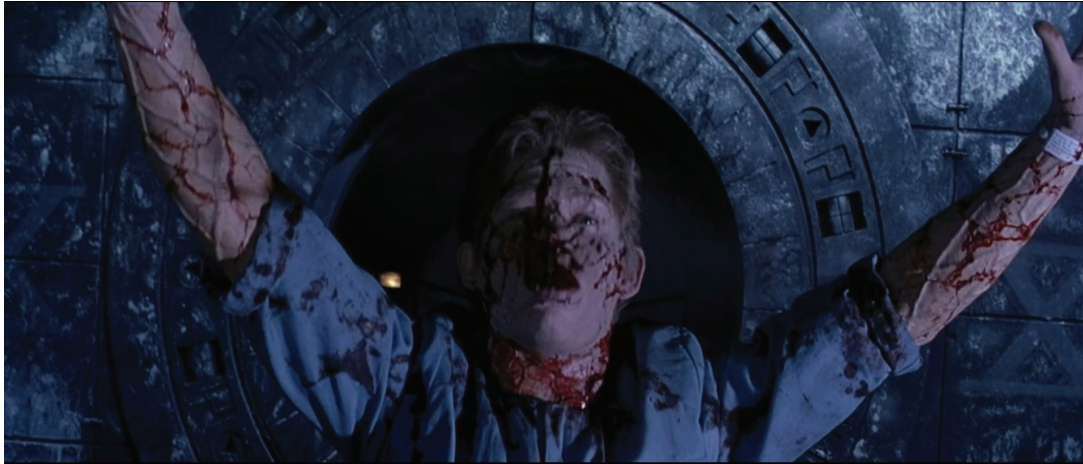
Fotograma 10. Primeros signos clínicos observables y síntomas manifestados por Justin ante una descompresión rápida, con vasodilatación por expansión de los gases y desnitrogenación.



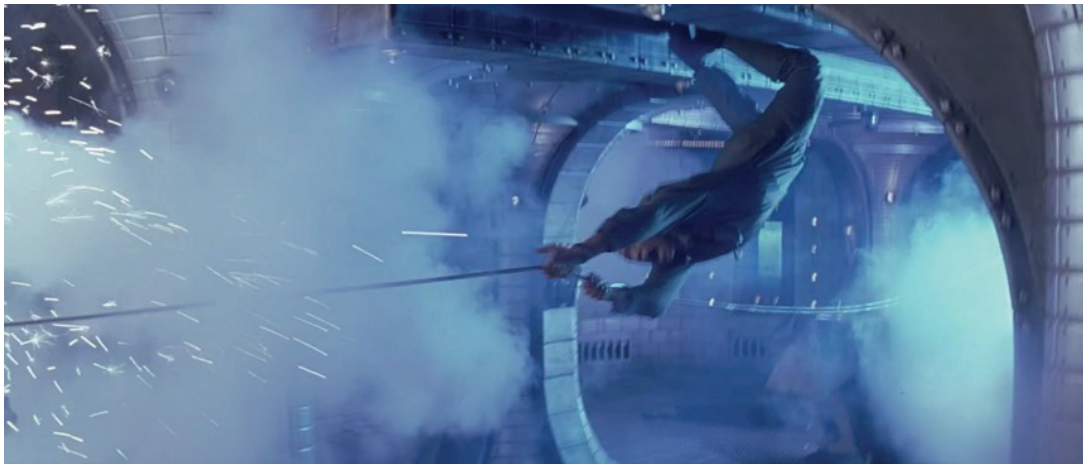
Fotograma 11. Las relaciones entre el ojo y la piel son muy cercanas. Junto con hemorragias de las heridas de la piel, aparecen derrames oculares (hiposfagma) en forma de hemorragia subconjuntival por la rotura de vasos sanguíneos o capilares del ojo.



Fotograma 12. Despresurización de la esclusa con salida del astronauta sin protección, en un ambiente en ausencia de presiones, y con exposición directa a la radiación y/o a la congelación extrema.



Fotograma 13. El vacío exterior provoca la atelectasia, colapso completo de ambos lóbulos pulmonares, con alvéolos totalmente desinflados y llenos de sangre por edema pulmonar.



Fotograma 14. En el interior de la nave se observa también como el capitán Miller se sujeta a un cable ante la descompresión producido por una brecha en el casco.

Discusión

Las condiciones ambientales del espacio se rigen por patrones hipobáricos tal como sucedía con el montañismo y la aviación¹⁻³. La historia de los viajes espaciales también obligó a comprender los efectos de la altura y de las bajas presiones

de los gases sobre el cuerpo humano, junto a la microgravedad, la ingravedad y las fuerzas de aceleración, que supusieron los mayores desafíos para la homeostasis corporal. La disminución en la capacidad de autorregulación del cerebro ha sido documentada mediante la técnica de reposo en

cama con la posición de la cabeza abajo. Muchos sistemas fisiológicos se encuentran afectados durante los vuelos espaciales, tal como la función cardiovascular, respiratoria, neurosensorial, musculoesquelética, endocrina y renal, junto con los riesgos de lesión por hipotermia y congelación, desmineralización ósea y litiasis, y la exposición a diferentes tipos de radiación⁴. Un fallo en los ajustes de todas esas variables comprometería la salud y el rendimiento de los astronautas.

Uno de los primeros síntomas más evidentes de los vuelos espaciales es el estancamiento (estasis de sangre) e incluso la inversión del flujo sanguíneo en la parte superior del cuerpo de los astronautas. Un signo visible es la modificación significativa de la distribución de los fluidos de los cuerpos a la cabeza, con acompañamiento de distensión de las venas craneales produciendo hipertensión intracraneal benigna transitoria, pero que pueden ser corregidos mediante técnicas de reposo en cama con la posición cabeza abajo⁵. Está documentado que estancias de seis meses en la Estación Espacial Internacional (EEI o ISS, por sus siglas en inglés) muestran un flujo sanguíneo de la vena yugular interna revertido o estancado en más de la mitad de los astronautas, con el inconveniente de desarrollar coágulos y serias repercusiones para las misiones espaciales de larga duración en el espacio profundo⁶. La presión negativa en la parte inferior del cuerpo puede ser una contramedida prometedora para mejorar el flujo sanguíneo venoso en la parte superior del cuerpo durante el vuelo espacial⁶. Por otro lado, el retorno venoso se ve dificultado por la atrofia muscular, perdiendo desde un 20% a 30% de la masa y fuerza durante los vuelos espaciales de 2 semanas a 6 meses, respectivamente⁷. El sistema venoso cerebroespinal (CSVSV) constituye un sistema venoso carente de válvulas, único y de gran capacidad, en el que el flujo es bidireccional. También tiene un papel importante en la regulación de la presión intracraneal, que cambia

según la postura, y según la circulación venosa desde el cerebro⁸. La ausencia de mecanismos de bombeo y de válvulas venosas unidireccionales en la cabeza, cuello y tórax superior requieren de ayuda gravitacional para drenar la sangre. En el espacio, un ligero incremento retrógrado de presiones sobre los senos venosos y venas durales obstruyen la reabsorción del líquido cefaloraquídeo y disminuye su drenaje linfático, elevando su presión y originando un edema cerebral con hematoma subgaleal^{9,10}.

El mareo por movimiento terrestre ocurre típicamente cuando hay un desajuste entre la percepción visual y sistema vestibular del movimiento. Muchos astronautas informan alteraciones en la percepción mientras trabajan en el entorno tridimensional e ingravido sin reconocer las posiciones de arriba y abajo (fotograma 1) debido a la eliminación de las señales relacionadas con la gravedad, es decir, dejan de percibir información relacionada con la coordinación de la dirección de la cabeza o el cuerpo (postura) respecto a la velocidad vertical (movimiento) conservándose sensibles únicamente a las aceleraciones lineales del cuerpo^{11,12}; estos aspectos del espacio pueden contribuir al «mareo por movimiento espacial». Los astronautas deben aprender a desplazarse sin utilizar sus miembros inferiores en un ambiente tridimensional cuyas fuerzas de fricción son insignificantes (fotograma 1). La mayoría de los astronautas experimentan síntomas de aclimatación vestibular durante los primeros 1-2 días después de llegar al espacio⁴.

Un fallo en las unidades térmicas del transporte espacial permite la aparición de procesos de congelación, donde se aprecian rigidez del cuerpo y lesiones graves visibles en los tejidos (fotogramas 2.A y 2.B) por la formación de cristales de hielo (intracelular y extracelular). Un estudio forense del cadáver ofrecería más resultados, como hipertonicidad de los líquidos extracelulares, hiperviscosidad plasmática,

desnaturalización de proteínas, y destrucción de membranas celulares; procesos muy similares a los ocurridos en las grandes alturas^{1, 2}.

En la actualidad, existe preocupación de los efectos potenciales que pueda tener en los astronautas la exposición crónica a la radiación sobre trastornos neurológicos, carcinogénesis, trastornos de la regulación de la temperatura por isquemia e infertilidad¹³. En esta vía, el tratamiento por hipotermia terapéutica y el sueño pueden ser una forma protectora de regular el daño por radiación ambiental en los sistemas vivos¹⁴⁻¹⁶. Teniendo esto en cuenta, se ha propuesto la hibernación como un enfoque útil para los vuelos espaciales tripulados a largo plazo. La supresión metabólica humana (fotograma 3) es un concepto conocido por la literatura científica y el Cine para su uso potencial en futuros viajes al espacio profundo. En un estado de supresión metabólica inducido artificialmente, en forma de letargo sintético o estasis, los astronautas no consumirían recursos y sería una medida de ahorro, es decir, reduciría el peso de suministros y el combustible necesarios para las misiones de larga distancia¹⁷⁻¹⁹. La evidencia sugiere que los animales, cuando hibernan, demuestran una radioprotección relativa en comparación con su estado despierto. Por otro lado, también se conoce que las células con alteración del ritmo circadiano parecen ser más susceptibles al daño por radiación en comparación con aquellas que están bajo un control rítmico^{20, 21}. Un ritmo circadiano regular forzado podría limitar aún más el daño del ADN causado por la radiación.

Las cámaras gravitatorias de estasis conectadas a sistemas de contactores y depuradores de gases que aparecen en la película (fotogramas 4 y 5) coinciden con los actuales diseños de tecnología de hibernación interestelar, solo que presentarían un blindaje protector aun mayor contra la radiación espacial. Ya se trabaja en técnicas de sueño prolongado para largos viajes tripulados con una

disminución de la temperatura alrededor de 10 °C y un menor consumo de O₂ al reducir un ≈70% su metabolismo^{18, 22, 23}. Tal como muestra la película, los astronautas en estasis no necesitan moverse (fotograma 4), por lo que no sería necesario un transporte espacial grande. Se sabe que la densidad mineral ósea disminuye durante los vuelos espaciales de larga duración²⁴, pero la combinación de ejercicio más un fármaco antirresortivo (bifosfonatos) puede ser útil para proteger la salud ósea^{25, 26}. Si bien se cree que el riesgo de fractura en un entorno de microgravedad es bajo, el riesgo potencial de fractura aumenta al volver a entrar en un entorno de gravedad o antes elevadas aceleraciones^{4, 27}, pudiendo causar una fuerza que supere la elasticidad del hueso, la deforme y la fracture, incluso llegando a provocar su estallido. El uso de cámaras gravitatorias junto con el conocimiento de la energía máxima que las partes del cuerpo pueden absorber con seguridad permitiría estimar la posibilidad de lesiones en diversas circunstancias²⁸.

El transporte espacial debe estar sellada herméticamente, conteniendo su interior un clima artificial que impida la asfixia, con una concentración de O₂ y CO₂ lo suficientemente elevada y baja, respectivamente (fotograma 6). Uno de los inconvenientes de estos viajes son las explosiones de los tanques líquidos de O₂ y la combustión de O₂ gaseoso, que permitiría la distribución por doquier del fuego en ingravidez (fotograma 7). En las primeras misiones espaciales se utilizaban en la cápsula una atmósfera de O₂ puro a una presión interna total de 260 mmHg, con la probabilidad elevada de incendio y explosión que conlleva, además de ser frecuentes la aparición de atelectasia pulmonar como consecuencia de respirar O₂ puro^{29, 30}. Actualmente el O₂ puro se sustituyó por aire normal con cuatro veces más nitrógeno (N₂) que O₂, a una presión total de 760 mmHg (1 atm), para evitar riesgo de combustión y explosión³¹.

En la película el astronauta Justin es rescatado de un episodio de terror que vivió durante segundos, desencadenando un cuadro clínico de catatonía, que más tarde, en estado de enajenación transitoria intentará suicidarse dentro de la esclusa de aire (cámara de descompresión) sin traje espacial, activando el supresor de la compuerta interior sin posibilidad de volverse a abrir; la descompresión podría destruir la nave espacial (fotogramas 8-9). Este hecho catatónico es incompatible con los efectos de la microgravedad sobre la afectación en el desempeño cognitivo-aprendizaje y de los neurotransmisores cerebrales en los astronautas, como consecuencia de los cambios psicológicos, hormonales y cardiovasculares en el ambiente espacial³². La catatonía es un síndrome neuropsiquiátrico psicomotor inespecífico con anomalías motoras, que se presentan en asociación con: a) alteraciones en la consciencia, el afecto y el pensamiento (no debe confundirse con delirium), b) la esquizofrenia, c) la epilepsia, d) los accidentes cerebrovasculares, y e) los medicamentos neurolépticos, entre otros³³. Su diagnóstico sindrómico lleva a una variedad de trastornos de movimientos y conductas anormales, como flexibilidad cética, estereotipias, manierismos, enlentecimiento psicomotor y escasa reactividad al medio, y también conductas complejas como obediencia automática, ecolalia, ecopraxia, verberación, mutismo y negativismo³⁴.

La activación de la cámara de despresurización inicia la reducción de la presión a la que está sometido el astronauta catatónico sin protección, influyendo especialmente en los gases disueltos en su organismo y, con ellos, modificaciones estructurales en su cuerpo que alteran la fisiología de sus órganos (fotogramas 10-14). Al reducirse la presión ambiente, Justin empieza a manifestar la denominada «enfermedad descompresiva o síndrome de descompresión», un trastorno en el cual los gases inertes (el nitrógeno) disminuye la solubilidad de los gases en solución, disuelto en la sangre y los tejidos, retornando al estado gaseoso dentro

de la corriente sanguínea en forma de burbujas de gas. Ocurre en un proceso similar cuando los aviadores ascendían rápidamente desde el nivel del mar a un ambiente hipobárico, pero su aparición se puede prevenir si el piloto respira oxígeno puro no sólo durante el vuelo, sino también antes del mismo, de esta manera se elimina el nitrógeno de la circulación². Las burbujas de gas liberadas dentro de la corriente sanguínea pueden obstruir arteriolas (embolia gaseosa), provocando diversos cuadros isquémicos con síntomas que pueden incluir un síndrome con aparición de fatiga, dolor en los músculos y las articulaciones, con la aparición de pequeñas burbujas e inflamación a nivel subcutáneo (fotograma 10). Ciertas regiones corporales pueden sufrir parálisis transitoria y en ocasiones se producen lesiones permanentes e incluso la muerte².

Como conclusión, la película «Horizonte Final» supone un excelente recurso docente que ayudaría a comprender todos los diferentes mecanismos fisiológicos adaptativos que se ponen en funcionamiento desde que un astronauta sale de la Tierra hasta llegar al espacio. Además, se profundiza en los posibles avances técnicos que ayudarían a realizar con éxito misiones espaciales por tiempo prolongado.

Referencias

1. Domínguez-Vías G. The Disaster of 96: An educational way of explaining the physiological reactions produced as a consequence of exposure to low oxygen pressure at high altitude using the film Everest (2015). *J. Med. Mov.* 2018;14(4):227-36.
2. Domínguez-Vías G. Dive bomber (1941): a study model of aviation physiology. *J. Med. Mov.* 202;16(4):261-277.
3. Domínguez Vías G, Marín Amieva B, López Martín E. Cinema Seminar as a guidance resource in the election of undergraduate dissertation in the subject of physiology. *J. Med. Mov.* 2018;14(2):103-113.

4. Williams D, Kuipers A, Mukai C, Thirsk R. Acclimation during space flight: Effects on human physiology. *CMAJ* [Internet]. 2009;180(13):1317–1323.
5. Iwasaki K, Levine BD, Zhang R, Zuckerman JH, Pawelczyk JA, Diedrich A, et al. Human cerebral autoregulation before, during and after spaceflight. *J Physiol* [Internet]. 2007;579(3):799–810.
6. Marshall-Goebel K, Laurie SS, Alferova I v., Arbeille P, Auñón-Chancellor SM, Ebert DJ, et al. Assessment of Jugular Venous Blood Flow Stasis and Thrombosis During Spaceflight. *JAMA Netw Open* [Internet]. 2019;2(11):e1915011.
7. Shackelford LC. Musculoskeletal response to space flight. In: Barrat MR, Pool SL, editors. *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. New York (NY): Springer New York; 2008. p. 293–306.
8. Tobinick E, Vega CP. The cerebrospinal venous system: Anatomy, physiology, and clinical implications. *MedGenMed*. 2006;8(1):53.
9. Kim DH, Parsa CF. Space flight and disc edema. *Ophthalmology*. 2012;119(11):2420–2421.
10. Mader TH, Gibson CR, Pass AF, Kramer LA, Lee AG, Fogarty J, et al. Optic disc edema, globe flattening, choroidal folds, and hyperopic shifts observed in astronauts after long-duration space flight. *Ophthalmology*. 2011;118(10):2058–2069.
11. West JB. Historical perspectives: Physiology in microgravity. *J. App. Physiol.* [Internet]. 2000;89(1):379–384.
12. Yates BJ, Kerman IA. Post-spaceflight orthostatic intolerance: Possible relationship to microgravity-induced plasticity in the vestibular system. *Brain Res Rev*. 1998;28(1-2):73–82.
13. Hellweg CE, Baumstark-Khan C. Getting ready for the manned mission to Mars: The astronauts' risk from space radiation. *Naturwissenschaften*. 2007;94(7):517–526.
14. Fukunaga H. The Effect of Low Temperatures on Environmental Radiation Damage in Living Systems: Does Hypothermia Show Promise for Space Travel? *Int J Mol Sci*. 2020;21:6349.
15. Bellesi M, Bushey D, Chini M, Tononi G, Cirelli C. Contribution of sleep to the repair of neuronal DNA double-strand breaks: Evidence from flies and mice. *Sci Rep*. 2016;6:36804.
16. Andersen ML, Ribeiro DA, Bergamaschi CT, Alvarenga TA, Silva A, Zager A, et al. Distinct effects of acute and chronic sleep loss on DNA damage in rats. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2009;33(3):562–567.
17. Squire T, Ryan A, Bernard S. Radioprotective effects of induced astronaut torpor and advanced propulsion systems during deep space travel. *Life Sci. Space Res*. 2020;26:105–113.
18. Cerri M, Tinganelli W, Negrini M, Helm A, Scifoni E, Tommasino F, et al. Hibernation for space travel: Impact on radioprotection. *Life Sci. Space Res*. 2016;11:1-9.
19. Jones H. «Starship life support». In: SAE Technical Paper. SAE International; 2009-01-2466. International Conference On Environmental Systems. 2009. e-ISSN: 2688-3627.
20. Dakup PP, Porter KI, Cheng Z, Gaddameedhi S. Circadian clock protects against radiation-induced dermatitis and cardiomyopathy in mice [abstract]. In: *Proceedings of the American Association for Cancer Research Annual Meeting 2018; 2018 Apr 14-18; Chicago, IL. Philadelphia (PA): AACR; Cancer Res*. 2018;78(13 Suppl):Abstract nr 4159.
21. Dakup PP, Porter KI, Gaddameedhi S. The circadian clock protects against acute radiation-induced dermatitis. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 2020;399:115040.
22. Cockett TK, Beehler CC. Protective Effects of Hypothermia in Exploration of Space. *JAMA*. 1962;182(10):977–979.
23. Nordeen CA, Martin SL. Engineering human stasis for long-duration spaceflight. *Physiology*. 2019;34(2):101–111.
24. Swaffield TP, Neviasser AS, Lehnhardt K. Fracture risk in spaceflight and potential treatment options. *Aerosp. Med. Hum. Perform*. 2018;89(12):1060-1067.
25. LeBlanc A, Matsumoto T, Jones J, Shapiro J, Lang T, Shackelford L, et al. Bisphosphonates as a supplement to exercise to protect bone during long-duration spaceflight. *Osteoporos. Int*. 2013;24(7):2105–2114.

26. Sibonga J, Matsumoto T, Jones J, Shapiro J, Lang T, Shackelford L, et al. Resistive exercise in astronauts on prolonged spaceflights provides partial protection against spaceflight-induced bone loss. *Bone*. 2019;128:112037.
27. Kleiven S. Why Most Traumatic Brain Injuries are Not Caused by Linear Acceleration but Skull Fractures are. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2013;1:15.
28. Abrahamyan MG. On the Physics of the Bone Fracture. *International Journal of Clinical and Experimental Medical Sciences*. 2017;3(6):74–77.
29. Tacker WA, Balldin UI, Burton RR, Glaister DH, Gillingham KK, Mercer JR. Induction and prevention of acceleration atelectasis. *Aviat. Space Environ. Med.* 1987;58(1):69–75.
30. Haswell MS, Tacker WA, Balldin UI, Burton RR. Influence of inspired oxygen concentration on acceleration atelectasis. *Aviat. Space Environ. Med.* 1986;57(5):432–437.
31. Brinckmann E. Biology in Space and Life on Earth. In: Brinckmann E, editor. *Biology in Space and Life on Earth: Effects of Spaceflight on Biological Systems*. Wiley; 2007. P.1–277.
32. Messerotti Benvenuti S, Bianchin M, Angrilli A. Effects of simulated microgravity on brain plasticity: A startle reflex habituation study. *Physiol. Behav.* 2011;104(3):503–506.
33. Rasmussen SA, Mazurek MF, Rosebush PI. Catatonia: Our current understanding of its diagnosis, treatment and pathophysiology. *World J. Psychiatry*. 2016;6(4):391-398.
34. Walther S, Strik W. Catatonia. *CNS Spectr.* 2016;21(4):341–348.