

Viagem espacial: Um desafio sob o ponto de vista da oftalmologia

Space travel: A challenge from the point of view of ophthalmology

Carlos Eduardo Ximenes da Cunha¹ <https://orcid.org/0000-0002-8649-5096>

Ariadne Figueiredo Oliveira¹ <https://orcid.org/0000-0003-2939-4966>

Gabriel Lessa de Souza Maia¹ <https://orcid.org/0000-0003-2054-5908>

Laís Rytholz Castro¹ <https://orcid.org/0000-0003-2058-099X>

Marina Viegas Moura Rezende Ribeiro² <https://orcid.org/0000-0001-7626-2806>

RESUMO

No final do século vinte, com o surgimento de novas tecnologias e de novos programas espaciais, a medicina aeroespacial ganhou destaque no meio científico uma vez que os estudos relacionados às alterações da fisiologia humana no espaço tornaram-se cada vez mais necessário para a manutenção da saúde de cosmonautas. Os olhos são considerados uma das estruturas mais sensíveis do corpo às alterações vasculares, estruturais e bioquímicas provocadas pela microgravidade e radiação cósmica. Nesse sentido, essa revisão narrativa busca identificar e explicar as principais alterações morfológicas e funcionais que ocorrem no sistema visual em decorrência de missões espaciais.

Descritores: Medicina Aeroespacial; Manifestações oculares; Radiação cósmica; Catarata; Papiledema

ABSTRACT

At the end of the twentieth century, with the emergence of new technologies and new space programs, aerospace medicine gained prominence in the scientific community since studies related to changes in human physiology in space have become increasingly necessary for the maintenance of cosmonaut health. The eyes are considered one of the most sensitive structures in the body to vascular, structural and biochemical changes caused by microgravity and cosmic radiation. In this sense, this narrative review seeks to identify and explain the main morphological and functional changes that occur in the visual system as a result of space missions.

Keywords: Aerospace Medicine; Eye manifestations; Cosmic radiation; Cataract; Papilledema

¹Acadêmico de Medicina, Centro Universitário Tiradentes, Maceió, AL, Brasil.

²Centro Universitário Tiradentes Maceió, Maceió, AL, Brasil.

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Recebido para publicação em 4/8/2020 - Aceito para publicação em 6/11/2020

INTRODUÇÃO

O período correspondente à “Guerra Fria” foi marcado pela bipolaridade de forças entre os Estados Unidos da América (EUA) e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), que naquele momento disputavam a hegemonia geopolítica, tecnológica e financeira do mundo.^(1,2) Neste cenário, houve o desenvolvimento dos primeiros mísseis e foguetes aeroespaciais do planeta, dando início à “Era Espacial”.⁽²⁾

Em 1961, o então presidente dos EUA John Franklin Kennedy anunciou o plano de levar o primeiro homem a Lua, todavia, os conhecimentos sobre os efeitos da aceleração, pressurização e microgravidade sobre o corpo humano eram bastante precários naquele momento.⁽³⁻⁵⁾

A medicina espacial passou a estudar fenômenos fisiológicos que ocorrem em humanos durante voos de órbita terrestre baixa, como aquele realizado pela estação espacial internacional e satélites e nos voos de exploração que ultrapassam a órbita do planeta Terra, incluindo as expedições para a lua e Marte.^(5,4)

Um dos maiores desafios a permanência do homem no espaço pode ser a sua saúde ocular, uma vez que os olhos estão parcialmente protegidos pela pele, uma importante barreira contra agentes agressores como a radiação.⁽⁶⁾ Na Terra existe uma camada de ar que envolve todo o planeta e atua como uma barreira aos raios UVB emitidos pelo sol e à radiação cósmica advinda de diversos corpos celestes no espaço.⁽⁶⁾

A fisiologia do aparelho visual está intimamente ligada às condições de radiação e pressão encontradas no nosso planeta.⁽⁷⁾ No ambiente de microgravidade ocorre redistribuição sanguínea na qual a parte superior do corpo torna-se congesta com aumento na pressão hidrostática dos vasos sanguíneos.⁽⁷⁾ A congestão venosa cerebral afeta diretamente a pressão intraocular e pode causar danos ao fundo do olho como papiledema e hemorragias retinianas.^(7,8)

Desse modo, o estudo tem por objetivo revisar os impactos estruturais causados pela microgravidade e pela exposição à radiação cósmica aos olhos.^(8,9)

METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão narrativa acerca das adaptações e alterações oftalmológicas dos humanos no espaço. Para contemplar a pesquisa foram usadas as bases de dados do PubMed, Lilacs, Scielo e o GoogleScholar com uso de space and ophthalmology como descritores e seus respectivos termos em português. Foram incluídos nesse trabalho os artigos que citavam em seus resumos alterações oculares resultantes da microgravidade e efeitos oftalmológicos da radiação cósmica e alterações vasculares em astronautas durante as missões espaciais. Foram achados 20 e então excluídos 8 por não mencionarem essas alterações nos resumos. Desse modo, foram selecionados 12 artigos sendo todos os idiomas contemplados para a inclusão na pesquisa.

RESULTADOS

As alterações oculares denotadas por essa revisão narrativa são resultantes da microgravidade e da radiação cósmica. (Quadro 1) Sendo assim, os estudos analisados afirmam que o olho é uma estrutura bastante sensível ao contexto espacial, desse modo, alterações como edema de disco óptico, manchas retinianas em algodão, dobras de coroide, catarata são vistos.

Somado a isso, ainda pode ter acometimento do sistema cardiovascular que repercute no sistema visual, no qual, devido a gravidade, há uma congestão venosa levando alterações no fundo do olho como: papiledema e inchaço periorbital. Achados de imagens como protusão do nervo óptico e achatamento do globo posterior são também descritas em decorrência da ida do homem ao espaço.

Ademais, a exposição prolongada a microgravidade gera o aumento da pressão intracraniana (PIC) que se apresenta clinicamente com distúrbios visuais, náuseas, vômitos em jatos e cefaleia. Além disso, são descritos a suscetibilidade ao câncer, à alterações degenerativas e distróficas. O fenômeno de fosfena é resultante da interação da retina com partículas iônicas e foi

Quadro 1
Análise dos estudos que sinalizam alterações no sistema visual
provocadas pela exposição à microgravidade e à radiação

Autores	Local do estudo	Achados oftalmológicos
Aleci 2020 ⁽⁶⁾	Turin, Itália	Edema de disco óptico, manchas retinianas em algodão, catarata e fenômeno fosfena.
Kandarpa et al., 2019 ⁽⁷⁾	Tamil Nadu, Índia	Congestão venosa cerebral repercute em alteração de fundo de olho.
Lee et al., 2017 ⁽⁸⁾	Houston, Estados Unidos	Papiledema, manchas algodinosas.
Kramer et al., 2012 ⁽⁹⁾	Houston, Estados Unidos	Achatamento do globo posterior (27%), protusão do nervo óptico (15%).
West 2000 ⁽¹⁰⁾	Califórnia, Estados Unidos	Problemas cardiovasculares levando ao inchaço periorbital.
Michael et al., 2015 ⁽¹¹⁾	Illinois, Alemanha	Náusea, vômitos em jato e distúrbios visuais.
Takahashi et al., 2018 ⁽¹⁵⁾	Gunma, Japão	Aumenta o risco de câncer e alterações degenerativas como a catarata.
Kleiman et al., 2017 ⁽¹⁶⁾	Nova York, Estados Unidos	O aparelho visual é o primeiro a sofrer alterações decorrentes da radiação.
Sannita et al., 2006 ⁽¹⁹⁾	Roma, Itália	Fenômeno fosfena
Zhang et al., 2018 ⁽²⁰⁾	Xangai, China	Catarata
Ivanov et al., 2018 ⁽²²⁾	Tuebingen, Alemanha	Aumento de chances de câncer e alterações distróficas.



Figura 1: Taxa de exposição à radiação cósmica em diferentes ambientes*.

*Figura desenhada por Cunha CEX. (2020) usando recursos do Freepik, com (<https://br.freepik.com/>)
Diferentes ambientes no sistema solar com taxa de radiação inversamente proporcional a espessura da atmosfera/estrutura segundo Sato et al. (18)

descrito por alguns astronautas. Ainda pode ser visto dobras da coróide resultante do papiledema.

DISCUSSÃO

Desde a primeira viagem interplanetária ficou claro que os riscos para a saúde dos humanos no espaço dependem do tempo e da distância da viagem espacial.^(7,10) Com o desenvolvimento de novos programas espaciais americanos como Gemini e Apollo, novos parâmetros fisiológicos passaram a ser estudados.⁽¹⁰⁾ Os principais foram: perda de densidade óssea, perda de cálcio ósseo, nitrogênio muscular e da massa de células vermelhas, sendo resultantes da alta taxa metabólica do organismo durante as missões.⁽¹⁰⁻¹²⁾

Sendo assim, para explicar essas alterações, pode-se lembrar que a atmosfera terrestre é conhecida como “escudo protetor da Terra”, que envolve e protege o planeta dos raios cósmicos advindos dos corpos celestes. Além disso, exerce uma força constante e unidirecional, a gravidade, sobre os corpos que nela estão.⁽⁶⁾ Quando presente fora desse “escudo”, o corpo humano está sujeito a ação da radiação cósmica.⁽⁶⁾

Um estudo realizado com cosmonautas da estação espacial internacional evidenciou que um terço dos tripulantes que retornavam ao planeta apresentavam sintomas oculares resultantes do aumento da PIC e da radiação presente no espaço.⁽¹³⁾

Essas alterações ocorrem pois os olhos são estruturas bastante suscetíveis à radiação cósmica já que há descontinuidade da pele, uma importante barreira de proteção.⁽⁶⁾ Segundo Cucinotta et al.,⁽¹⁴⁾ a probabilidade de astronautas desenvolverem câncer secundário à radiação está intimamente ligada ao tempo de exposição e idade do indivíduo.^(14,15)

O cristalino se apresenta como uma estrutura do sistema visual bastante radiosensível e pode sofrer opacificação quando exposto à níveis de radiação abaixo de 0,5 Gy.⁽¹⁶⁾ A radiação atua nos tecidos do corpo humano através de dois principais mecanismos.⁽⁶⁾ O primeiro é proveniente de lesão direta, causando mutações irreparáveis até a morte celular.^(6,17) O segundo, o mecanismo indireto, vai ocorrer a formação de radicais livres gerando desequilíbrio das moléculas próximas.⁽¹⁷⁾

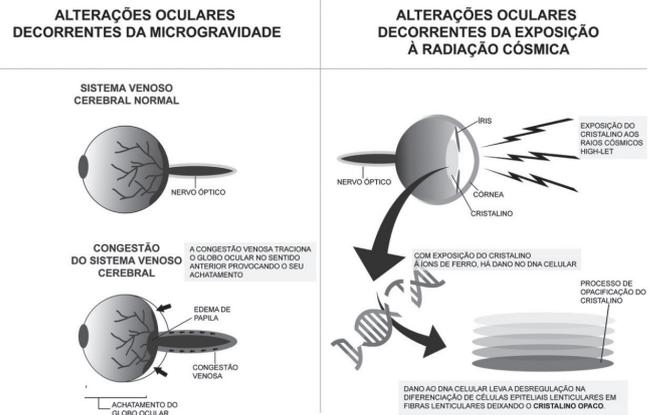


Figura 2: Principais alterações estruturais e fisiológicas provocadas pela microgravidade e pela radiação cósmica*.

*Figura desenhada por Cunha CEX. (2020) usando recursos do Freepik, com (<https://br.freepik.com/>)
Mecanismos fisiopatológicos descritos por Aleci.⁽⁶⁾

Ademais, a exposição à radiação cósmica varia com a atmosfera de cada planeta ou satélite.⁽⁶⁾ (Figura1) A superfície lunar, por exemplo, apresenta níveis de radiação superiores aos encontrados em Marte, isso porque a Lua possui uma pequena camada de gás circundando-a enquanto Marte apresenta uma atmosfera mais espessa.^(15,18)

Existem dois fenômenos oftalmológicos que decorrem da exposição do sistema ocular à radiação: fosfena e catarata.⁽⁶⁾ O primeiro é resultante da interação da radiação com o humor vítreo e o cristalino sendo descritos pelos astronautas como pontos brancos em movimento ou estacionários que interferem na leitura, condução e função visual normal.^(6,19,20)

O segundo é o efeito de indução da catarata nos tripulantes expostos a radiação sendo que quanto maior a dose, maior a probabilidade de desenvolver a patologia,⁽⁶⁾ além do aumento da prevalência em astronautas que participaram de missões lunares ou de alta inclinação sendo resultante da ação dos raios cósmicos galácticos de high-LET^(6,19) (Figura 2). A catarata é caracterizada pela opacificação do cristalino que é uma lente que participa do processo de acomodação visual e focalização dos raios de luz na retina.^(20,21)

A fisiopatologia da catarata envolve modificações pós-traducionais de proteínas formadoras do cristalino que ocorrem por influência genética ou até mesmo por dano direto ao DNA celular.⁽²⁰⁾ A radiação cósmica high-LET causam danos ao DNA por induzirem a formação de radicais livres como espécies reativas de oxigênio.^(6,22) Em decorrência disso, há desregulação entre a diferenciação de células epiteliais lenticulares em fibras lenticulares deixando o cristalino opaco e com consequente diminuição na acuidade visual do indivíduo.^(20,22)

A microgravidade também resulta em alterações estruturais do sistema visual.⁽¹⁴⁾ Há fragmentação do DNA celular com danos a matriz celular e mutação no núcleo da célula. Ademais, ela é responsável por alterações cardiovasculares e esqueléticas.^(6,8)

Segundo o departamento de medicina da National Aeronautics and Spaces Administration’s (NASA) foram docu-

mentadas modificações patológicas nos olhos de astronautas de voos espaciais de longa duração.⁽⁸⁾ O edema de disco óptico, achatamento de globo ocular, prega coroide, manchas em algodão e erros refrativos são os achados patológicos mais documentados pela NASA.⁽⁸⁾ (Figura 2) Foi realizado um estudo com astronautas de missões espaciais de longa duração no qual 60% apresentaram déficits na acuidade visual para perto e para longe.⁽²³⁾

Outra pesquisa realizada por Kramer et al.⁽⁹⁾ mostrou resultado nos exames de imagem da influência da microgravidade sobre a órbita sendo observado protusão do nervo óptico em quatro (15%) dos vinte e sete astronautas e achatamento do globo posterior em sete (26%) do mesmo total.⁽¹⁰⁾

Já no sistema cardiovascular a microgravidade atua diminuindo as forças hidrostáticas e, conseqüentemente, o bombeamento do coração.⁽¹⁰⁾ Sendo assim, há uma redistribuição de sangue para a parte superior do corpo, com isso ocorre ingurgitamento de sangue arterial e distensão no sistema jugular venoso.^(6-8,10) Comumente, os astronautas cursam com inchaço ao redor da órbita e edema facial.⁽¹⁰⁾

Além disso, a drenagem do líquido cefalorraquidiano fica comprometida, sendo assim, uma vez que o sistema de drenagem do líquido está prejudicado, haverá acúmulo de líquido nos espaços intersticiais e/ou intracelular.^(8,23) Essa condição elevará a pressão intraocular, além da PIC, levando a edema de todo o aparelho.^(23,24)

Dentre os achados citados, destaca-se o papiledema, pela associação com HIC e por ser detectado pelo exame do fundo de olho.⁽²³⁾ O edema cerebral irá comprimir o nervo óptico, dificultando a passagem de sangue pela veia oftálmica, logo, edemaciando o nervo.⁽²³⁾

Já as dobras de coroide são descritas como ondulações no epitélio pigmentado da retina, membrana de Bruch e porção interna coriocapilar, e podem ter várias etiologias, sendo associadas ao papiledema desde o primeiro registro na literatura.⁽²⁴⁾

Outra repercussão ocular importante no ambiente de microgravidade é a hipóxia hipobárica, tal situação é decorrente de uma menor pressão parcial de oxigênio (O₂) no ambiente extra-atmosférico.⁽²⁵⁾ A menor pressão de O₂ no sangue dificulta a oxigenação tecidual e requer mecanismos adaptativos que evitem hipóxia aos diversos tecidos humanos.⁽²⁶⁾

Um estudo realizado pela NASA com 250 tripulantes do programa shuttle analisou indivíduos expostos a baixas pressões de O₂ 1-3 dias após término das suas missões.⁽²⁵⁾ Desconforto gástrico, perda de apetite e cefaleia foram alguns achados encontrados, todavia, sintomas oculares também podem ocorrer como resultado da oxigenação falha da retina.^(25,26)

Hemorragia retiniana é a primeira manifestação da hipóxia hipobárica na vascularização da retina, somado a isso, pode haver hemorragia vítrea, edema de nervo óptico e oclusão de veia retiniana.⁽²⁶⁾

CONCLUSÃO

Constata-se que com o lançamento do sputnik, a humanidade avançou notavelmente sua tecnologia, fabricando aeronaves melhores e mais seguras. Além disso, houve um amplo progresso no entendimento dos efeitos colaterais dessas viagens para o corpo humano. Isso nos fez compreender como a radiação e a microgravidade afetam o sistema óptico e os achados clínicos

decorrentes da viagem espacial.

Dessa forma, depreende-se a importância de preservar a saúde visual dos astronautas não apenas debruçando-se mais sobre o assunto, mas também desenvolvendo tecnologias que os protejam e os mantenham cada vez mais seguros, com o mínimo de alterações possíveis.

REFERÊNCIAS

1. Launius RD. The historical dimension of space exploration. Reflections and possibilities. *Space Policy*. 2000;16(1):23-38.
2. Berry CA, Hoffer GW, Jernigan CA, Kerwin JP, Mohler SR. History of space medicine: the formative years at NASA. *Aviat Space Environ Med*. 2009;80(4):345-52.
3. Launius RD. Interpreting the moon landings: project apollo and the historians. *Hist Technol*. 2006;22(3):225-55.
4. Hodkinson PD, Anderton RA, Posselt BN, Fong KJ. An overview of space medicine. *Br J Anaesth*. 2017 ;119 Suppl_1:i143-53.
5. Capova KA. The New Space Age in the making: emergence of exo-mining, exo-burials and exo-marketing. *Int J Astrobiol*. 2016;15(4):307-10.
6. Aleci C. From international ophthalmology to space ophthalmology: the threats to vision on the way to Moon and Mars colonization. *Int Ophthalmol*. 2020;40(3):775-86.
7. Kandarpa K, Schneider V, Ganapathy K. Human health during space travel: an overview. *Neurol India*. 2019;67(8 Suppl):S176-81.
8. Lee SH, Dudok B, Parihar VK, Jung KM, Zöldi M, Kang YJ, et al. Neurophysiology of space travel: energetic solar particles cause cell type-specific plasticity of neurotransmission. *Brain Struct Funct*. 2017;222(5):2345-57.
9. Kramer LA, Sargsyan AE, Hasan KM, Polk JD, Hamilton DR. Orbital and intracranial effects of microgravity: findings at 3-T MR imaging. *Radiology*. 2012;263(3):819-27.
10. West JB. Physiology in microgravity. *J Appl Physiol* (1985). 2000;89(1):379-84.
11. Michael AP, Marshall-Bowman K. Spaceflight-Induced Intracranial Hypertension. *Aerosp Med Hum Perform*. 2015;86(6):557-62.
12. Homick JL. Space motion sickness. *Acta Astronaut*. 1979;6(10):1259-72.
13. Reichhardt T, Abbott A, Saegusa A. Science struggles to gain respect on the space station. *Nature*. 1998;391(6669):732-7.
14. Cucinotta F, Cacao E, Kim MH, Saganti P. Non-targeted effects lead to a paradigm shift in risk assessment for a mission to the earth's moon or martian moon phobos. *Radiat Prot Dosimetry*. 2018;183(1/2):213-8.
15. Takahashi A, Ikeda H, Yoshida Y. Role of high-linear energy transfer radiobiology in space radiation exposure risks. *Int J Part Ther*. 2018;5(1):151-9.
16. Kleiman NJ, Stewart FA, Hall EJ. Modifiers of radiation effects in the eye. *Life Sci Space Res (Amst)*. 2017;15:43-54.
17. Okuno E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. *Acidente de Goiânia. Estud Av*. 2013;27(77):185-200.
18. Sato T, Nagamatsu A, Ueno H, Kataoka R, Miyake S, Takeda K, et al. Comparison of cosmic-ray environments on Earth, Moon, Mars and in spacecraft using phits. *Radiat Prot Dosimetry*. 2018;180(1-4):146-9.
19. Sannita WG, Narici L, Picozza P. Positive visual phenomena in space: A scientific case and a safety issue in space travel. *Vision Res*. 2006;46(14):2159-65.
20. Zhang K, Zhu X, Lu Y. The Proteome of cataract markers: focus on crystallins. *Adv Clin Chem*. 2018;86:179-210.

21. Helene O, Helene AF. Alguns aspectos da óptica do olho humano. *Rev Bras Ensino Fis.* 2011;33(3):1-8.
22. Ivanov IV, Mappes T, Schaupp P, Lappe C, Wahl S. Ultraviolet radiation oxidative stress affects eye health. *J Biophotonics.* 2018;11(7):e201700377.
23. Carlotti JR CG, Colli BO, Dias LA. Hipertensão intracraniana. *Medicina (Ribeirão Preto).* 1998;31(4):552-62.
24. Guerra RL, Silva IS, Guerra CL, Maia Júnior OO, Marback RL. Dobras de coroide. *Rev Bras Oftalmol.* 2013;72(5):348-51.
25. Wessel JH 3rd, Schaefer CM, Thompson MS, Norcross JR, Bekdash OS. Retrospective evaluation of clinical symptoms due to mild hypobaric hypoxia exposure in microgravity. *Aerosp Med Hum Perform.* 2018;89(9):792-7.
26. Russo A, Agard E, Blein JP, Chehab HE, Lagenaitte C, Ract-Madoux G, et al. Rétinopathie de haute altitude: à propos de 3 cas. *J Fr Ophthalmol.* 2014;37(8):629-34.

Autor correspondente:

Carlos Eduardo Ximenes da Cunha

Endereço: Avenida Beira Mar, Bairro 13 de julho, nº1656, apt

1202, Aracaju, SE – Brasil

CEP: 49025-040

Telefone: (79) 999187437

Email: ocaduximenes@gmail.com