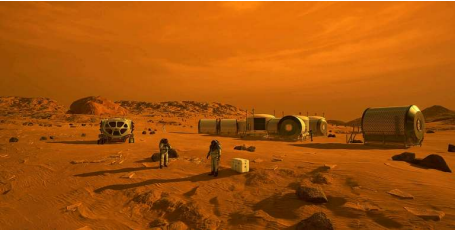


Długoterminowe loty kosmiczne - wpływ na ośrodkowy układ nerwowy

Zuzanna Szostok

Wstęp

Idea długoterminowych lotów kosmicznych oraz przebywania w przestrzeni kosmicznej jest istotnym krokiem w eksploracji kosmosu. Projekt „Artemis”, realizowany przez NASA we współpracy z firmami komercyjnymi, ma za zadanie umożliwić długotrwały pobyt astronautów na Księżycu, a docelowo - i na Marsie. (1) Takie misje wiążą się jednak z ryzykiem zdrowotnym związanym m.in. z wpływem mikrogravitacji czy promieniowania kosmicznego na ludzki organizm. Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie wpływu mikrogravitacji, promieniowania kosmicznego oraz innych czynników na funkcjonowanie ośrodkowego układu nerwowego u astronautów podczas długoterminowych lotów kosmicznych.



<https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA23302.jpg>

Promieniowanie kosmiczne

Jednym ze znaczących czynników wpływających na organizmy żywe w przestrzeni kosmicznej jest niestabilne i inne od występującego na Ziemi chronionej magnetosferą promieniowanie. Składa się ono z kosmicznego promieniowania tła oraz promieniowania wynikającego z aktywności słonecznej. (2) Gryzonie wystawione na promieniowanie kosmiczne wykazują upośledzenie w procesach podejmowania decyzji oraz w innych funkcjach wykonawczych. Zaobserwowano u nich również upośledzenie w pamięci przestrzennej i epizodycznej, jak i zmniejszenie złożoności dendrytycznej oraz gęstości kolców dendrytycznych w korze przedczołowej przyśrodkowej, czyli obszarze odpowiedzialnym za decyzyjność. (3) Po napromieniowaniu gryzoni zaobserwowano również zmiany w spoczynkowym potencjale błonowym neuronów kory perirynalnej (PRC), obszaru odpowiedzialnego za percepcję bodźców zmysłowych oraz pamięć. Zanołowano również redukcję połączeń między PRC a hipokampem. (4) Innymi zagrożeniami płynącymi z promieniowania kosmicznego jest przewlekły stres oksydacyjny czy zapalenie tkanki nerwowej. (5) Zmiany te wydają się szczególnie niebezpieczne podczas długoterminowych lotów kosmicznych, gdzie istotną rolę odgrywa umiejętność radzenia sobie z niespodziewanymi zdarzeniami oraz procesy decyzyjne. Promieniowanie kosmiczne zwiększyło poziom enzymów metylujących DNA u myszy. Odkryto, że hamowanie działania tych enzymów skutkuje poprawą w funkcjonowaniu behawioryalnym zwierząt aż do poziomu zwierząt nienapromieniowanych. (6) Daje to nadzieję na epigenetyczne rozwiązanie problemu promieniowania.

Mikrogravitacja

Kolejnym problemem, z którym trzeba się liczyć podczas lotów długoterminowych, jest mikrogravitacja. Przeprowadzono badania mające na celu określić wpływ mikrogravitacji na hipokamp. W tym celu umieszczono myszy na 7 dni w środowisku mikrogravitacyjnym. W rezultacie zaobserwowano spadek liczby białek w hipokampie, w tym białek zaangażowanych w metabolizm. Zanołowano także ubytek w ilości tubulin, czyli białek odpowiedzialnych za budowę szkieletu komórkowego. Innym białkiem o zredukowanym poziomie okazała się synukleina β odpowiedzialna za ochronę komórek nerwowych przed apoptozą - śmiercią komórkową. (7) Przeprowadzono również badania obrazowe - rezonans magnetyczny astronautów, mający na celu zobrazowanie zmian w mózgach po podróży kosmicznej. Zaobserwowano wzrost objętości komór mózgowych skorelowany dodatnio z czasem przebywania w kosmosie oraz ujemnie skorelowany z wiekiem. Zmian nie zanołowano w przypadku krótkoterminowych lotów. Przeprowadzono również testy kognitywne i ustalono, że wynikająca z mikrogravitacji zmiana w jądrze ogoniastym koreluje z osłabieniem kontroli postawy. (8) W innym badaniu postanowiono zbadać wpływ symulowanej mikrogravitacji na zdrowych ochotnikach. Umieszczono ich w pozycji leżącej z głową skierowaną w dół pod kątem 6 stopni. Zaobserwowano redukcję objętości istoty szarej mózgu w wielu istotnych obszarach, m.in. w prawym hipokampie, oby dwóch płatach czołowym czy wyspie oraz zwiększenie objętości istoty szarej robaka oraz lewych zakrętów przedśrodkowego i zaśrodkowego. (9) Inne badanie obejmowało rezonans magnetyczny mózgów astronautów przed długodystansowym lotem oraz kilkakrotnie (m.in. po dniu, miesiącu czy roku) po locie. Zaobserwowano zwiększoną objętość mózgu oraz płynu mózgowo-rdzeniowego, która nie ustąpiła po roku od powrotu na Ziemię. U części astronautów zanołowano także zmiany morfologiczne przysadki w postaci zmniejszenia jej wysokości. (10)

LSCS

Wyróżniono szczególny rodzaj stresu związany z długoterminowymi podróżami kosmicznymi - LSCS (long-term spaceflight composite stress). Podejrzewa się, że może mieć on wpływ na deficyty kognitywne oraz depresję spowodowaną lotami długoterminowymi. Składowe, które mają wpływ na powstanie LSCS to nie tylko mikrogravitacja, ale też hałas obecny na statkach czy stacjach kosmicznych, izolacja społeczna oraz zmiany w rytmie dobowym. (11) W badaniach przeprowadzonych na szczurach umieszczonych na 42 dni w warunkach mogących wywołać LSCS (symulowana mikrogravitacja, hałas etc.) zaobserwowano ich spadek masy ciała, lęk oraz zachowania przypominające depresję. Zanołowano również zniszczenia w strukturze synaps. (12)

Badanie bliźniąt

Warto też wspomnieć o słynnym doświadczeniu, w którym wybrano parę bliźniąt jednojajowych i jednego z nich wysłano na prawie rok na ISS. Przebadano wtedy wpływ długiego pobytu w kosmosie na wiele układów i procesów zachodzących w ludzkim organizmie. W aspekcie ośrodkowego układu nerwowego zbadano m.in. sprawność umysłową. Mimo że podczas lotu sprawność bliźniaka-astronauty wzrosła, po powrocie na Ziemię zaobserwowano jej spadek zarówno względem jej wartości podczas lotu, jak i w porównaniu do drugiego bliźniaka. (13)

Podsumowanie

Przedstawione powyżej skutki długoterminowych podróży kosmicznych to tylko niektóre z wielu aspektów, z którymi należy się liczyć przed wyprawą na Marsa czy osiedleniem się na Księżycu. Gruntowne poznanie wpływu czynników obecnych w przestrzeni kosmicznej na ośrodkowy układ nerwowy stanowi istotne zadanie, które może doprowadzić do znalezienia rozwiązań niwelujących ich szkodliwy wpływ na ludzki organizm.

Źródła

(1) <https://www.nasa.gov/human-space/artemis/> (2) Nelson GA, Space Radiation and Human Exposures. A Primer. *Radiat Res*. 2016 Apr;185(4):349-58. doi: 10.1667/RR1431.1.1. Epub 2016 Mar 28. PMID: 27018778. (3) Parthar VK, Allen BD, Coates C, Kwak S, Chu E, Tran KK, Chmielewski NN, Giedras E, Acharya MM, Boffin BA, Baulch JE, Limoli CL. Cosmic radiation exposure and persistent cognitive dysfunction. *Sci Rep*. 2016 Oct 10;6:34774. doi: 10.1038/srep34774. PMID: 27272383. (4) Parthar VK, Maroso M, Svage A, Allen BD, Angulo MC, Soltesz I, Limoli CL. Persistent nature of alterations in cognition and neuronal circuit excitability after exposure to simulated cosmic radiation in mice. *Exp Neurol*. 2018 Jul;305:44-55. doi: 10.1016/j.expneurol.2018.03.009. Epub 2018 Mar 11. PMID: 29540322. (5) Parthar VK, Allen B, Tran KK, Macaraeg TG, Chu EM, Kwak SF, Chmielewski NN, Crover BM, Baulch JE, Acharya MM, Cucinotta FA, Limoli CL. What happens to your brain on the way to Mars. *Sci Adv*. 2015 May 1;1(4):e1400256. doi: 10.1126/sciadv.1400256. PMID: 26180643. (6) Acharya MM, Boddour AA, Kawatalla T, Allen BD, Svage AR, Nguyen TH, Yoon N, Giedras E, Yu L, Parthar VK, Baulch JE. Epigenetic determinants of space radiation-induced cognitive dysfunction. *Sci Rep*. 2017 Feb 21;7:42885. doi: 10.1038/srep42885. PMID: 28220892. (7) Sarkar P, Sarkar S, Banerjee V, Hayes BE, Thomas RL, Wilson BL, Kim H, Barnes S, Kulkarni A, Pells H, Banerjee GT. Proteomic analysis of mice hippocampus in simulated microgravity environment. *J Proteome Res*. 2006 Mar;5(3):548-53. doi: 10.1021/pr050274r. PMID: 16512669. (8) Roberts DR, Asemanni D, Nietert PJ, Eckert MA, Inglesby DC, Bloomberg JJ, George MS, Brown TR. Prolonged Microgravity Affects Human Brain Structure and Function. *Ann Am J Neurol*. 2019 Nov;40(11):1878-1885. doi: 10.3174/ajnr.A6249. Epub 2019 Oct 17. PMID: 31624117. (9) Li K, Guo X, Jin Z, Ouyang X, Zeng Y, Feng J, Wang Y, Yao L, Mo L. Effect of Simulated Microgravity on Human Brain Gray Matter—Evidence from MRI. *PLoS One*. 2015 Aug 13;10(8):e0135535. doi: 10.1371/journal.pone.0135535. PMID: 26270525. (10) Kramer JA, Hosen RM, Stenger MB, Sangrey A, Laurie SS, Otto G, Hout-Snyder RJ, Marshall-Goebl K, Rietzke RF, Macias BR. Intracranial Effects of Microgravity: A Prospective Longitudinal MRI Study. *Radiology*. 2020 Jun;295(3):640-648. doi: 10.1148/radiol.2020191413. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32286194. (11) Yin Y, Liu J, Fan Q, Zhao S, Wu X, Wang J, Liu Y, Lu W. Long-term spaceflight composite stress induces depression and cognitive impairment in astronaut-like insights from neuroplasticity. *Transl Psychiatry*. 2023 Nov 8;13(1):342. doi: 10.1038/s41398-023-02638-5. PMID: 37938258. (12) Yin YS, Zhu YB, Liu JJ, Fan QC, Wu XR, Zhao S, Wang JP, Liu Y, U YZ, Lu WH. Long-term spaceflight composite stress induces depressive behaviors in model rats through disrupting hippocampus synaptic plasticity. *Chin Neurosci Ther*. 2024 Mar;30(3):e14438. doi: 10.1111/ncn.14438. Epub 2023 Oct 17. PMID: 37849237. (13) Soreth-Soleiman FE, Doshi M, Green SJ, Sur RC, Lin L, Macias BR, McKenna MJ, Meydan C, Mahro T, Nassiri J, Pening BD, Rizzardi LF, Sharma K, Samwald JH, Taylor L, Vitaterna MH, Alkhorayji M, Afshineko E, Ahadi S, Amboldi A, Anya M, Bezzon D, Callahan CM, Chen S, Choi AMK, Chlipala GE, Contrepas K, Covington M, Crucian BE, De Vivo L, Dingus DF, Ebert DJ, Feinberg JJ, Gandara JA, George KA, Goutelas J, Grills GS, Hargens AR, Heer M, Hillary RP, Hoehnagle AN, Hook VVH, Jenkinson G, Jiang P, Keshavarzian A, Laurie SS, Lee-McMullen B, Lumpkins SB, Mackay M, Matenschein-Cline MG, Melnick AM, Moore TM, Nishihara K, Patel HH, Pietrzyk R, Rao V, Sato R, Salas DN, Schilling JM, Sears DD, Sheridan CK, Stenger MB, Triggvadottir R, Urban AE, Vaiaer T, Van Esen B, Zhang J, Ziegler MG, Zwart SR, Charles JB, Kundrot CE, Scott GB, Bailey SM, Baner M, Feinberg AP, Lee SMC, Mason CE, Mignot E, Rana BK, Smith SM, Snyder MP, Turek FW. The NASA Twins Study: A multidimensional analysis of a year-long human spaceflight. *Science*. 2019 Apr 12;364(6436):eaou8550. doi: 10.1126/science.aou8550. PMID: 30975860. (14) PMC755084.



<https://www.nasa.gov/stem-content/microgravity-in-the-classroom/>