

## Derleme

# Uzay ve Beyin

## Brain and Space

Adem DOĞAN, Soner YAŞAR, Sait KAYHAN, Şahin KIRMIZIGÖZ, Ali KAPLAN

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

## ÖZ

Uzaya gitmek insanoğlunun en eski rüyasıdır. Bu rüya 20. yüzyılda gerçek olmuş ve pek çok ülke kendi uzay programlarını başlatmıştır. Ancak uzay yolculukları uzamaya başladıkça ve farklı gezegenlere gitme fikri de ortaya çıkınca uzay ortamının insan bedenine olan etkileri de daha çok merak edilmeye başlanmıştır. Güvenli uzay yolculukları için gerekli şartlar araştırılmaya başlanmıştır. Yerçekimsiz ortam/düşük yerçekimi (mikrogravite), radyasyon ve düşük manyetik alan insan vücudunu uzay ortamında etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin etkilerini ortaya koymak için gerek Dünya'da uzay ortamı simüle edilerek gerekse de uzay istasyonlarında bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Derlemenin amacı; uzayın insan beynine olan etkileri üzerine yapılmış çalışmaları özetlemek ve gelecek nesillere bu alanda yol göstermektir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Beyin, Mikrogravite, Radyasyon, Uzay

## ABSTRACT

Going to space is the oldest dream of humankind. This dream came true in the 20<sup>th</sup> century and many countries have launched their space programs. However, as trips into space become prolonged and the going to different planets is considered, the effects of the space environment on the human body have also begun to attract interest. The conditions for safe space travel have begun to be investigated. The gravity-free environment/low gravity (microgravity), radiation and low magnetic field are the most important factors affecting the human body inspace. In order to demonstrate the effects of these factors, the space environment has been simulated on Earth and scientific studies have been started in space stations as well. The aim of this review is to summarize the studies on the effects of space on the human brain and to guide future generations on this subject.

**KEYWORDS:** Brain, Microgravity, Radiation, Space

## ■ GİRİŞ

Uzaya çıkmak, gezegenlere ve yıldızlara gitmek eski çağlardan beri hep insanoğlunun bir hayali olmuştur. Bu hayal 1957 yılında Sputnik uydusunun uzaya fırlatılması ile gerçek olmuş ve uzay çağı başlamıştır. Neil Armstrong'un 1969 yılında aya ayak basması ile Dünya dışına keşif yolunda önemli bir dönemeç aşılmıştır. Artık günümüzde Mars'a yolculuk konuşulmaya başlanmıştır. Uzayda daha uzun yolculuklar için teknolojik ilerlemeler sağlanmıştır. Bununla birlikte uzaya yapılan bu seyahatlerin insan bedenindeki etkileri daha yeni yeni araştırılmaya başlanmıştır.

Uzay çağının genel olarak 1957 yılında Sputnik uydusunun uzaya fırlatılması ile başladığı kabul edilir. Yuri Gagarin 12 Nisan 1961'de uzaya çıkan ilk insan olmuştur. Daha sonra ABD, Sovyetler Birliği, Fransa, İngiltere, Çin, Japonya gibi ülkeler uzaya defalarca insanlı uzay araçları ve uydu göndermişlerdir. Geçen 60 yılın sonunda artık günümüzde uzay bir uydu çöplüğü haline almıştır. Bu uyduların çoğu telekomünikasyon, gözlem ve casusluk uyduları olup Mir, Skylab gibi bilimsel amaçlı istasyonlar da kurulmuş ve bunlarla pek çok bilimsel deneyler yapılmıştır. Daha sonra 1998 yılında Uluslararası Uzay İstasyonu (UÜİ) kurulmuş ve bilimsel araştırmalar bu istasyonda halen



Yazışma adresi: Adem DOĞAN  
E-posta: drademdogan@yahoo.com

devam etmektedir. Bu araştırmalar son yıllarda canlıların ve de insanların uzayda nasıl yaşayabilecekleri, çoğalabilecekleri ve kendilerini uzayın zararlı etkilerinden nasıl koruyabilecekleri üzerine yoğunlaşmıştır.

Günümüzde insanoğlunun en büyük hayali Mars gezegenine gitmek ve burada kalıcı bir koloni kurmaktır. Bunun için pek çok ülke gerek Dünya'da gerekse de uzayda bilimsel çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmaların genel amacı, uzun Mars yolculuğunun ve Mars'daki yaşamın insan bedenine etkilerini araştırmak ve buraya gidecek insanların nasıl yaşamlarını sürdürebileceğini bulmaktır. ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) uzay görevi yapmış olan astronotlar üzerinde tıbbi araştırmalar gerçekleştirmiş ve uzay görevlerinin insan bedenleri (sistemleri) üzerine etkilerini ortaya koymaya çalışmıştır.

Uzay ortamının Dünya ortamından temelde üç önemli farkı vardır. Bunlar yerçekimsiz/düşük yer çekimli ortam (mikrogravite), uzay radyasyonu ve düşük manyetik alandır. İnsanoğlu doğduğundan itibaren hep yerçekimli ortamda yaşadığı için tüm organlarımız ve vücut sıvıları vücut boşlukları içinde buna göre konumlanmış ve hareket etmektedir. Uzay ortamına çıkıldığında bu yerçekimi etkisi ortadan kalkmaktadır. Ayrıca Ay ve Mars'da ise Dünya'ya göre çok daha düşük yerçekimli bir ortam mevcuttur. Dünya'nın yerçekimi  $9,807 \text{ m/s}^2$ 'dir. Ay'ın yerçekimi Dünya'nın %16'sı kadar ( $1,622 \text{ m/s}^2$ ), Mars'ın yerçekimi ise Dünya'nın %38'i (yaklaşık 3'de biri) kadardır ( $3,711 \text{ m/s}^2$ ). Bu ortamların insan vücuduna etkilerinin Dünya'dan farklı olacağı kesindir. Mikrograviteden başka diğer bir sorun uzay radyasyonu (kozmetik radyasyon)'dur. Uzayda iki farklı kaynaktan yayılan radyasyon vardır. Bu radyasyon kaynakları güneş ve yıldızlararası (galaktik) sistemlerdir. Güneş ve galaktik kaynaklı partiküller genellikle düşük enerjili proton (%90'dan fazla) ve elektronlardır. Kozmik radyasyon gerek partikül özellikleri gerekse de enerji düzeyi itibarıyla Dünya'daki radyasyondan çok farklıdır. Dolayısıyla kozmik radyasyonun insan vücuduna etkileri de farklıdır ve halen araştırılmaktadır. Son olarak Dünyanın manyetik alanı (Jeomanyetik alan) uzayda yoktur ve astronotlar düşük manyetik alanda yaşamaktadır. Manyetik alan Dünya'yı kozmik radyasyondan koruyan önemli bir araç olduğu için bunun olmaması insan vücudunu etkileyen bir diğer faktördür. Tüm bu üç değişkenden başka yalnızlık duygusu, gündüz-gece siklusundaki değişim, uzun süre izolasyon ve immobilizasyon insanda mental ve kognitif fonksiyonlarda değişikliklere neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen faktörlerin santral sinir sistemine olan etkileri incelenmiş ve astronotlara bu amaçla gerek uzaya gitmeden önce gerekse de uzaydan dönüşlerinde kapsamlı beyin taramaları yapılmıştır. Tüm bu bilimsel araştırmaların sonuçları uzun süreli uzay görevlerinin geleceği hakkında soru işaretlerinin doğmasına da sebep olmuştur.

Bu derlemede, öncelikle mikrogravitenin insan beynine etkileri üzerine olan çalışmaları özetlenecek, ardından uzaydaki radyasyonun insan vücudu ve özellikle beyni üzerine olan etkilerinden bahsedilecektir.

## ■ MİKROGRAVİTE ve BEYİN

Mikrogravite terimi kabaca düşük yerçekimi anlamına gelmektedir. Mikrogravitenin insan vücudundaki etkisine basit

bir örnek verecek olursak UUI'nin videolarını izlediğimizde astronotların yüzlerinin Dünya'dakine göre şişkin bir halde olduğunu görüyoruz. Yerçekiminin olmadığı bir ortamda normalde vücudun alt kısmında dağılan vücut sıvılarının vücuda daha eşit olarak dağılması ve yukarı doğru hareketi bu duruma neden olmaktadır. Yani vücut sıvıları aşağı doğru hareket edememektedir. Yerçekimi eksikliği, tüm vücudu etkilediği gibi beyne de birçok yönden etki etmektedir (Şekil 1). NASA ekibinin yapmış olduğu araştırmaların sonucunda astronotlar, değişikliklerin fiziksel ve mental olarak insani işlevlerde etkisinin bulunduğunu belirtmektedirler. Astronotlar, bundan dolayı yaptıkları hareketleri kontrol ederken ve bazı kavramsal görevlerini tamamlarken bir hayli zorluk çekmektedirler.

ABD'nin Texas Üniversitesi Sağlık Bilim Merkezi uzmanlarının, uzayda bir aydan uzun süre görev yapmış 27 astronot üzerinde 3-T manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile yaptığı testlerde, astronotların göz yuvarlarında şekil bozuklukları oluştuğunu saptanmıştır. Bu araştırmada ayrıca defalarca uzaya giden 8 astronota tekrarlayan beyin ve orbita MRG yapılmıştır. Optik sinir kılıfı kalınlığı ve optik sinir kalınlığı ölçülmüştür. Astronotların 7 tanesinde göz küresinin arka kısmında düzleşme, 4 tanesinde optik sinirde protrüzyon, 3 tanesinde hipofiz bezinin bombeliğinde konkavite ve posterior stalk deviasyonu gözlenmiştir. Bunun yerçekiminin az olduğu mikrogravite ortamı nedeniyle, idiopatik intrakranial hipertansiyonda olduğu gibi beyin omurilik sıvısı (BOS) basıncının artmasıyla ortaya çıktığı sanılmaktadır. Ancak bu kontrollü bir çalışma olmayıp uzaya gitmeden önce çekim yapılmamıştır. Dolayısıyla bu bulguların uzaya çıkmadan önce olup olmadığı bilinmemektedir (12).

Uzun uzay görevlerinin astronotlarda halsizlik, bulantı-kusma, baş ağrısı ve görme bozuklukları gibi semptomlara neden olduğu eskiden beri bilinmekteydi (9). Ancak bunların tam oluş mekanizması bilinmemektedir. Bazı yazarlar bu durumu artmış intrakranial basınca bağlamıştır. Uzay görevlerinde, yerçekimsiz ortamda, BOS'un da diğer vücut sıvıları gibi yukarı doğru hareket ettiği ve bu durumun da intrakranial basıncı artırdığı ileri sürülmüştür. Ayrıca uzay görevleri dönüşü semptomatik olan astronotlarda lomber ponksiyon yapılarak basıncın düşürüldüğü ve astronotlarda iyileşme gözlemlendiği bildirilmiştir.

Mikrogravitenin, sadece insanlarda değil uzay araçlarının bileşenlerini soğutmak için kullanılan cihazlarda beklenmeyen davranışlara neden olduğu gözlenmiştir. Birçok araştırmacı 2015 yılında UUI üzerinde yapılan deneyler sırasında, doğrudan ve dolaylı olarak mikrogravitenin buharlaşma ve yoğunlaşma süreçleri önemli derecede değiştirdiğini gözlemlemiştir. Bu da uzun uzay yolculuklarında astronotların vücut fonksiyonlarını etkileyecek ve beslenme ve sıvı ihtiyaçlarını değiştirebilecek önemli bir bulgudur.

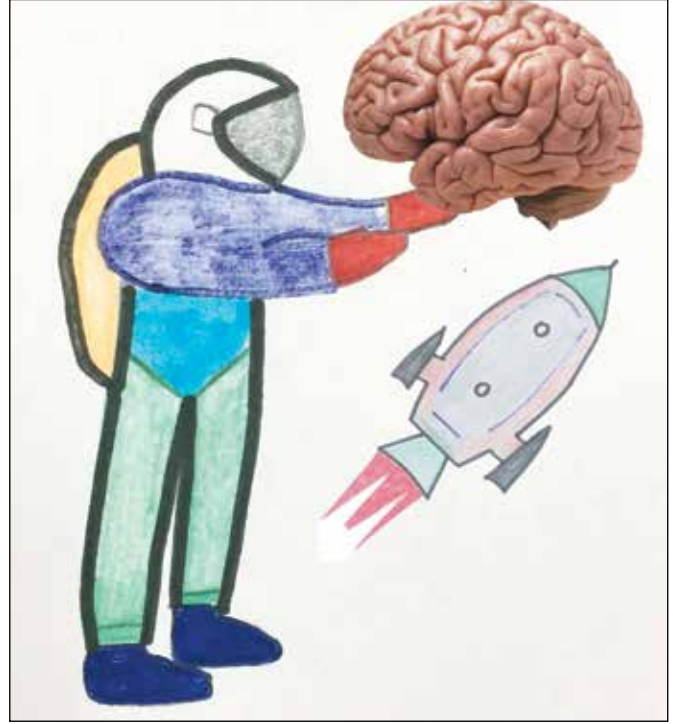
Astronotlar Scott Kelly ve Mikhael Kornienko'nun 2016 yılında yaptıkları açıklamalarda uzun uzay yolculuğu esnasında mikrograviteden dolayı osteoporoz, kas atrofisi, duysal işlev bozukluğu, beslenme ve adaptasyon bozuklukları yaşadıklarını ifade etmişlerdir (8). NASA bu etkileri araştırmak amacıyla astronotlardan uzayda geçirilen 340 gün boyunca kan, tükürük ve idrar örnekleri toplanmıştır. Bu örnekler Dünya'ya dönüşlerin-

de incelenecek ve analiz sonuçları daha sonra yayınlanacaktır (10). Ayrıca astronot Scott Kelly'nin biyolojik örnekleri 340 gün boyunca Dünya'da kalan tek yumurta ikizi Mark Kelly'nin örnekleri ile karşılaştırılmış ve genetik yönden incelenmiştir (7). Bunun sonucunda Scott Kelly'nin telomerlerinde ilk 48 saat içinde belirgin bir kısalma olduğu saptanmış ancak bu kısalma daha sonra normale dönmüştür. Ancak en belirgin değişiklik "uzay genleri" adı verilen genlerde olmuştur. Bu genler insan vücudunun hipoksi, mitokondrial stres, genetik süreçlerde (DNA hasarı, tamiri), konnektif doku süreçleri (kollajen, pıhtı ve kemik oluşumu) ve immün aktiviteleri düzenleyen hücrel süreçlerde önemli rol oynayan transkripsiyon proteinlerini kodlayan genlerdir. Altıncı ay kontrolde dahi, ikiz kardeşi ile karşılaştırıldığında, astronot Kelly'nin bu genlerinin %7'si normale dönmemiştir. Mikrogravite, hipoksi, inflamasyon ve kozmik radyasyon bu genetik değişikliğin sebepleri olabilir (7).

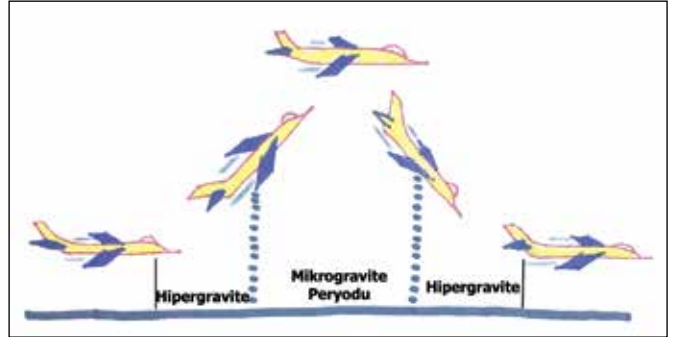
Mikrograviteyi Dünya'da simüle etmek çok zordur. Uçağın belirli bir açıyla yükselip alçalması şeklinde gerçekleşen "parabolik uçuş", yerçekimsiz ya da mikrogravite ortamlarının kısa süreli de olsa simülasyonunu sağlar (Şekil 2). Parabolik uçuş anında insanlar 22 saniyelikliğine yerçekiminin etkisinden sıyrılırlar. Bu yöntem, mikrogravite alanında çalışan bilim adamlarına büyük kolaylık sağlar. Ayrıca bu yöntem bilim adamlarına, çok daha az bir maliyetle uzay istasyonlarında astronotların nasıl bir yaşam alanına sahip olması gerektiğine dair veri sağlar. Bunun dışında kısa süreliğine uzaya bu amaçla uydu gönderilerek mikrogravite çalışmaları yapılmaktadır. Bu amaçla Çin ilk mikrogravite test uydusunu (SJ-10) 6 Nisan 2016'da uzaya göndermiş ve bu uydu 12 günlük uzay yolculuğunu tamamladıktan sonra dünyaya geri dönmüştür. Uydu, 12 günlük yolculuğu boyunca yerçekimsiz ortamda yaşam alanında 19 deney gerçekleştirmiştir. Bu deneylerden biri, insanoğlunun uzayda üremesini aydınlatmak üzere fare embriyolarının yerçekimsiz ortamdaki gelişiminin incelenmesi olmuştur. Yapılan diğer deneyin konusu ise sinek ile sıçan hücrelerinin genetik kararlılıkları üzerinde radyasyon etkisinin araştırılmasıdır (18).

Bugüne kadar beyin ile ilgili yapılan çalışmalarda genel olarak astronotlara görev öncesi ve görev sonrası beyin MRG'leri yapılmış ve bunlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca uzaya giden astronotlara bazı kognitif ve bilişsel fonksiyonlarla ilgili testler yapılmıştır. UÜİ'ye bugüne kadar herhangi bir radyolojik görüntüleme cihazı çıkartılmadığı için bu incelemeler uzayda yapılamamış ancak uzay'da elektroensefalografi (EEG) ile bazı çalışmalar yapılmıştır (1,5).

UÜİ astronotlarının üçte ikisi uzaydan geri geldiklerinde görüşlerinde bozulma olduğunu rapor etmişlerdir. Eski bir astronot olan John Phillips, The Washington Post gazetesine 2005 yılında uzay istasyonuna 20/20 görüşle çıktığını ve altı ay sonra 20/100 görüş keskinliğiyle döndüğünü söylemiştir (9). Görüşü yeryüzünde geçirdiği altı ayda bir miktar düzelme göstermişse de, gözlük kullanmak zorunda kalmıştır. Phillips yine de uzay deneyimini daha iyi görüş keskinliğine değişmeyeceğini söylemiştir. Astronotların uzun süre uzay görevlerinden döndüklerinde gözlenen görme kaybı ve artmış intrakranial basınç sendromu benzeri semptomlar araştırmacıları bu konuya yönlendirmiştir. Mikrogravite nedeniyle vücut sıvılarının beyne doğru hareket ettiği ve bunun da intrakranial basıncı ar-



Şekil 1: İnsan beyni uzayda başta mikrogravite olmak üzere, radyasyon ve düşük manyetik alandan etkilenmektedir.



Şekil 2: Parabolik uçuş ile yerçekimsiz ortam uzaya gitmeden de oluşturulabilmektedir.

tırdığı düşünülmüştür. Ayrıca yukarı doğru hareket eden BOS optik sinir kılıfı içerisinde basınç artışına neden olarak görme bozukluklarına neden olmaktadır. Uzayda 6 aydan fazla kalan astronotların yarısından fazlasında belirgin nörooftalmik semptomlar ortaya çıkmaktadır. Astronotlarda artmış intrakranial basınçtan dolayı görme kaybı olduğu ve bunun da NASA tarafından uzun süreli görevlerdeki en büyük risk faktörü olduğu kabul edilmiştir. Lawley ve ark. ise bu düşüncenin tersine 8 insan üzerinde yaptığı deneysel çalışmada akut mikrogravitenin santral venöz basıncı ve intrakranial basıncı düşürdüğünü göstermişlerdir. Bu çalışmada bir uçak keskin iniş çıkışlarla 20 saniyelik periyotlarda yerçekimsiz ortamlar yaratmış, yani parabolik uçuş ile akut mikrogravite simüle edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar özellikle 24 saatten uzun süre sıfır yerçekimi olan ortamda durma sonucu insan beyni üzerinde oluşan ba-

sının Dünya'da gözlenenenden bir miktar fazla olduğunu, ancak bunun patolojik düzeylerde olmadığını göstermiştir (13). Fakat bu çalışma uzayda yapılmadığı için astronotlarda sonuçların nasıl olabileceği hakkında kesin bir fikir vermemektedir.

Van Ombergen ve ark. tarafından yayınlanan bir çalışmada mikrogravite, kapatılma (confinement), izolasyon ve immobilizasyonun uzun uzay yolculuklarında astronotları en fazla etkileyen etkenler olduğu belirtilmiştir. Özellikle uzun süreli uzay yolculuklarının insan fizyolojisi üzerinde yıkıcı etkileri olabileceğini ifade etmişlerdir (17).

Alperin ve ark. ağırlıksız ortamın astronotların beyin sıvılarına etkisini araştırmak için 17 astronotta görev öncesi ve görev sonrası beyin MRG'lerinde beyaz cevher hiperintensitelerini incelemiştir. Bu 17 astronottan 10 tanesi UUI'de uzun süreli (ortalama 165 gün) görev yapmış olup, 7 astronot ise kısa süreli (ortalama 14 gün) uzay mekiği görevleri yapmıştır. Karşılaştırmalı MRG çalışmasında uzun süreli mikrograviteye maruz kalan astronotlarda periventriküler beyaz cevher hiperintensitesinde artış olduğu bulunmuştur. Bu artış muhtemelen ventriküler BOS hacmindeki artış ile ilişkilidir. Derin beyaz cevherde ise hiperintensite hacminde herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Bu da astronotlardaki uzun süreli uzay görevlerinden sonra meydana gelen kognitif performans değişikliğinden beyaz cevher hiperintensitesinin sorumlu olmadığını göstermektedir (2,3).

Demertzi ve ark. 2016 yılında 169 gün süreyle uzaya gitmiş 44 yaşındaki bir erkek astronotta uçuştan 30 gün önce ve Dünya'ya dönüşten 9 gün sonra fonksiyonel MRG çalışması yapmıştır. Bu çalışmada yazarlar fMRG'da astronotun vestibüler sisteminde ve motor fonksiyonlarla ilişkili bölgelerinde değişiklikler saptamıştır (6).

Nöroplastisite kabaca respektif veri girişlerindeki değişimlere bağlı nöronların fonksiyonlarında meydana gelen değişimler olarak tanımlanabilir. Uzun uzay görevlerinde nöroplastisitenin de etkilenebileceği daha önce rapor edilmiştir (4,11,16). Koppelmans ve ark. yayınladıkları çalışmada uzaya gidip gelen 27 astronotta görev öncesi ve görev sonrası MRG çalışması yapmıştır. Bu çalışma sonrasında yazarlar astronotların gri cevherlerinde değişiklikler saptamıştır. Özellikle frontal, temporal loblar ve orbita çevresindeki gri cevherde azalma, sensorimotor beyin bölgelerinde ise hafif artış tesbit edilmiştir. Bu değişimler uzayda geçen süre ile doğru orantılıdır. Yazarlar gri cevherdeki bu değişimin BOS yer değiştirmelerine ve nöral plastisitedeki değişimlere bağlamaktadır. Bu çalışma bugüne kadar astronotların beyinlerinde yapılmış olan en geniş kapsamlı MRG çalışmasıdır (11).

Özellikle EEG, mikrogravite araştırmalarında yaygın olarak kullanılmıştır. Kolay taşınabilir olmasından dolayı uzaya da götürülebilmekte ve uzayda EEG kaydı alınabilmektedir. Cebolla ve ark. 5 astronotta yaptıkları çalışmada uçuş öncesi, görev sırasında ve uçuş dönüşü EEG kayıtları almıştır. Uzay yolculuklarında parieto-okspital bölgedeki ve sensorimotor alanlardaki alfa ritminde artış olduğu saptanmıştır. Ayrıca serebellum ve vestibüler sistemde alfa düşüşü rapor edilmiştir. Bu ve buna benzer çalışmalarda EEG dalga değişimlerinin emosyonel stresörler ile ilgili olabileceği ileri sürülmüştür (5).

Roberts ve ark. yayınladıkları makalelerinde 18 uzun süreli (ortalama 165 gün) uzay görevi yapan ve 16 kısa süreli (ortalama 13 gün) uzay görevi yapan astronotların beyin MRG'lerini karşılaştırmış ve uzun süreli görevlerden sonra santral sulkusda daralma, beyinde yukarı doğru şift ve verteksdeki BOS alanlarında daralmanın daha belirgin olduğunu göstermişlerdir (15). Ayrıca uzun süreli görev yapanlarda ventriküler sistemin genişlediğini göstermişlerdir. Yazarlar tüm bu etkilerden dolayı BOS basıncının arttığı ve astronotlarda görme bozukluklarının ortaya çıktığını ileri sürmüşlerdir.

Kısaca mikrogravite gerek BOS sistemine gerekse de gri cevhere önemli derecede etki etmektedir. Ancak bu etkilerin insan kognitif fonksiyonlarına etkisi henüz ortaya konamamıştır. Ayrıca mikrogravitenin bu etkisinin üstesinden gelebilmek için uzayda yapay yerçekimi oluşturan yolları aramaktadır. Bunun bir yolu santrfüj hareketidir. Uzay aracını uzayda döndürmek santrfüj etkisi yaratarak yapay bir yerçekimi oluşturabilir. Ancak bu da son derece zor bir sistemdir.

## ■ KOZMİK RADYASYON ve BEYİN

Uzay yolculuklarında bir diğer risk ise radyasyona maruz kalmadır. Bu radyasyon ağır yüklü partiküllerin neden olduğu kozmik radyasyondur. Bu radyasyonun daha önce de bahsedildiği gibi iki temel kaynağı vardır. Birincisi güneş (solar radyasyon), diğeri ise güneş dışı yıldızlardan gelen radyasyon (galaktik radyasyon)'dur. UUI'de bir astronotun 6 ay boyunca aldığı radyasyon dozu 90 mSv'e yakındır. Bu miktar dünyada doğal radyasyondan 1 yılda alınan ortalama doz olan 2,4 mSv'in yaklaşık 37 katıdır. Ayrıca atmosferi olmayan Mars'daki uzay aracı Rover'deki RAD aletiyle yapılan ölçümlere göre Mars yüzeyinde günde alınabilecek radyasyon dozu ise 0,7 mSv kadardır. Dünyada ise 1 yılda alınan ortalama doğal radyasyon dozu 2,4 mSv'dir. Bu da uzayda ve Mars'da radyasyonun ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir.

Radyasyonun insan beyni üzerine etkileri daha önce radyoterapi gören hastalarda ve radyasyon kazasına uğrayan kişilerde araştırılmıştır. Ancak bunların hiçbirisi uzayda astronotların maruz kaldığı türden radyasyon değildir. Uzayda daha ziyade galaktik kozmik ışınların neden olduğu yüksek enerjili ve tam iyonize nükleer radyasyon mevcuttur. Galaktik kozmik ışınlardaki ağır yüklü parçacıkların oluşturduğu radyasyon Dünya'daki radyasyon tiplerinden farklı olup hücrelerde ciddi ve geri dönüşümü olmayan hasar meydana getirmektedir. Uzay gemisinin gövdesini ve astronotları bu yüklü parçacıklardan yeterince koruyacak bir teknoloji henüz geliştirilememiştir. Bununla ilgili NASA uzun yıllardır araştırmalar yapmakta ve uzay araçlarını bu tür radyasyona karşı dayanıklı maddelerle kaplamaktadır.

Yapılan çalışmalarda beynin hipokampus ve frontal korteks bölgelerinin kozmik radyasyondan en fazla etkilenen kısımlar olduğu ortaya konmuştur. Parihar ve ark. fareler üzerinde ağır iyonizan radyasyonun etkilerini araştırmıştır. Farelere 6 hafta süreyle NASA Uzay Radyasyon Laboratuvarında 0,5-1,0 Gy/dakika dozunda <sup>16</sup>O ve <sup>48</sup>Ti yüklü partikül radyasyon verilmiştir. Farelere hipokampal ve prefrontal korteks fonksiyonlarını gösteren kognitif testler (yeni obje tanıma, objeyi yerine

koyma) uygulanmış ve farelerin prelibik alandaki nöronları incelenmiştir. Çalışma sonunda radyasyonun kortikal ve hipokampal kognitif fonksiyonlarda ciddi bir düşüşe neden olduğu, ayrıca nöronların sinaptik bütünlüğünde bozulmalar olduğu ortaya konmuştur (14).

Mars yolculuğu da düşünülecek olursa kozmik radyasyon daha önemli hale gelir. Mars atmosferinin basıncı dünyadaki %1'i kadar bile değildir. Ayrıca yerçekimi kuvveti de daha önce bahsedildiği gibi dünyadaki yaklaşık %38'i kadar olup mikrograviteden söz edebiliriz. Mars atmosferi %95 CO<sub>2</sub>'den, %2,7 azot, %1,6 argon ve eser miktarda da CO, oksijen ve su buharından oluşuyor. Ayrıca Mars'da sıcaklık +20°C ile -80 hatta -150°C arasında değişebiliyor. Mars'ın atmosferinin çok ince olmasına rağmen, bu atmosfer kozmik ışınların etkisini bir miktar azaltabilir ve radyasyon dozu bu nedenle Mars yolculuğunda alınan dozun yarısından daha azdır. Dünya'dan Mars'a gidiş-geliş ve 500 gün kalış ile alınacak maksimum dozun 1000 mSv, yani 1 Sv olacağı, bunun da insanda kanser riskini ciddi düzeyde artıracığı düşünülmektedir. Kozmik radyasyonun bu etkilerinin üzerinden gelebilmek için öncelikle Mars'da Dünya'dakine benzer atmosfer oluşturulmaya çalışılmaktadır.

## ■ SONUÇ

Uzay yolculuğu halen pek çok bilinmezlikleri beraberinde getiren önemli bir deneyimdir. Mikrogravite ve kozmik radyasyon en önemli risk faktörleridir. Bunlar dışında izolasyon, immobilizasyon, kapatılma ve yalnızlık hissi ile gece-gündüz döngüsündeki değişim insanı uzayda bekleyen stres faktörleridir. Beynimizin tüm bunlardan etkilenmemesi mümkün değildir. Ancak şu ana dek yapılan çalışmalar bu etkilenmenin oldukça sınırlı olduğunu ve tehlikeli boyutlarda olmadığını göstermiştir.

## ■ KAYNAKLAR

1. Adey WR, Kado RT, Walter DO: Analysis of brain wave records from Gemini flight GT-7 by computations to be used in a thirty day primate flight. *Life Sci Space Res* 5: 65-93, 1967
2. Alperin N, Bagci AM: Spaceflight-induced visual impairment and globe deformations in astronauts are linked to orbital cerebrospinal fluid volume increase. *Acta Neurochir Suppl* 126:215-219, 2018
3. Alperin N, Bagci AM, Lee SH: Spaceflight-induced changes in white matter hyperintensity burden in astronauts. *Neurology* 89(21): 2187-2191, 2017
4. Cassidy K, Koppelmans V, Reuter-Lorenz P, De Dios Y, Gadd N, Wood S, Castenada RR, Kofman I, Bloomberg J, Mulavara A, Seidler R: Effects of a spaceflight analog environment on brain connectivity and behavior. *Neuroimage* 141: 18-30, 2016
5. Cebolla AM, Petieau M, Dan B, Balazs L, McIntyre J, Cheron G: Cerebellar contribution to visuo-attentional alpha rhythm: Insights from weightlessness. *Sci Rep* 6: 37824, 2016
6. Demertzi A, Van Ombergen A, Tomilovskaya E, Jeurissen B, Pechenkova E, Di Perri C, Litvinova L, Amico E, Rumshiskaya A, Rukavishnikov I, Sijbers J, Sinitsyn V, Kozlovskaya IB, Sunaert S, Parizel PM, Van de Heyning PH, Laureys S, Wuyts FL: Cortical reorganization in an astronaut's brain after long-duration spaceflight. *Brain Struct Funct* 221(5): 2873-2876, 2016
7. Hoshide R, Jandial R: The genetics of space travel. *Neurosurgery* 83(1):E8-E9, 2018
8. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-astronaut-scott-kelly-returns-safely-to-earth-after-one-year-mission>
9. <https://www.washingtonpost.com/national/health-science/the-mysterious-syndrome-impairing-astronauts-eyesight>
10. Kelly S: *Endurance: A Year in Space, a Lifetime of Discovery*. London: Transworld Publishers Limited, 2017
11. Koppelmans V, Bloomberg JJ, Mulavara AP, Seidler RD: Brain structural plasticity with spaceflight. *NPJ Microgravity* 2: 2, 2016
12. Kramer LA, Sargsyan AE, Hasan KM, Polk JD, Hamilton DR: Orbital and intracranial effects of microgravity: Findings at 3-T MR imaging. *Radiology* 263(3): 819-827, 2012
13. Lawley JS, Petersen LG, Howden EJ, Sarma S, Cornwell WK, Zhang R, Whitworth LA, Williams MA, Levine BD: Effect of gravity and microgravity on intracranial pressure. *J Physiol* 595(6): 2115-2127, 2017
14. Parihar VK, Allen BD, Caressi C, Kwok S, Chu E, Tran KK, Chmielewski NN, Giedzinski E, Acharya MM, Britten RA, Baulch JE, Limoli CL: Cosmic radiation exposure and persistent cognitive dysfunction. *Sci Rep* 6: 34774, 2016
15. Roberts DR, Albrecht MH, Collins HR, Asemanni D, Chatterjee AR, Spampinato MV, Zhu X, Chimowitz MI, Antonucci MU: Effects of spaceflight on astronaut brain structure as indicated on MRI. *N Engl J Med* 377(18): 1746-1753, 2017
16. Slenzka K: Neuroplasticity changes during space flight. *Adv Space Res* 31(6): 1595-1604, 2003
17. Van Ombergen A, Demertzi A, Tomilovskaya E, Jeurissen B, Sijbers J, Kozlovskaya IB, Parizel PM, Van de Heyning PH, Sunaert S, Laureys S, Wuyts FL: The effect of spaceflight and microgravity on the human brain. *J Neurol* 264 Suppl 1: 18-22, 2017
18. Zhao HG, Qiu JW, Tang BC, Kang Q, Hu WR: The SJ-10 recoverable microgravity satellite of China. *J Space Explor* 5(1): 101, 2016