

Az űrutazással kapcsolatos neuro-ocularis szindróma hatásai a szemre és a látásra

NAGY ZOLTÁN ZSOLT DR., FODOR ESZTER DR., TÓTH GÁBOR DR., KNÉZY KRISZTINA DR.

Semmelweis Egyetem, Szemészeti Klinika, Budapest
(Igazgató: Prof. Dr. Nagy Zoltán Zsolt egyetemi tanár)

A magyar űrkutatási program kezdete óta a rövid és hosszú távú űrutazások szemészeti következményeinek vizsgálata előtérbe került. Az űrutazások során számos szemészeti eltérés alakulhat ki, amelyek földi modellezése is fontos. A szemészeti eltéréseket összefoglaló néven SANS-szindrómának (Spaceflight Associated Neuro-ocular Syndrome) nevezzük. Ezek magába foglalják az űrutazás során fellépő papillaödémát, a hátsó pólus előrébb helyeződését és az ezzel járó következményes hypermetropizálódást, a chorioidea- és retinaredők megjelenését, továbbá az idegrostréteg megvastagodását és a gyapottépésszerű retinagócok megjelenését. Az űrrepülés időtartama szerint megkülönböztetünk rövid távú hatásokat, Short Duration SpaceFlight (SDSF), továbbá hosszú távú hatásokat, Long Duration SpaceFlight (LDSF). A rövid távú hatásnak számít a 6 hónapon belüli űrutazás, hosszú távú hatásnak a 6 hónapot meghaladó időtartam számít. A vizsgálatok alapján az űrutazások során a látóélességet lényegesen korlátozó szemészeti szövődményekre nem kell számítani, a papillaödéma általában 6 hónappal az űrrepülést követően oldódik, a hypermetropiás shift tartós maradhat, azonban szemüveggel jól korrigálható. Az űrben tapasztalható hatások földi modellezésére a „Head Down Tilt Bend Test” (HDTBT) a legalkalmasabb, amelynek során a vizsgálati alany fejét 6 fokkal lejjebb helyezik egy fekvőágyon, ilyen módon a mikrogravitációs környezet hatását lehet tanulmányozni. A SANS pontos patomechanizmusának megértéséhez további vizsgálatokra van még szükség, különös tekintettel a hosszú távú űrutazások szemészeti következményeire.

The effects of neuro-ocular syndromes on the eye and vision during space flight

Since the start of the Hungarian space program the short and long term ophthalmologic changes among astronauts came into the front line. To modelize the changes of the eye which might affect the sight during space flight is of utmost importance. SANS syndrome (Spaceflight Associated Neuro-ophthalmic Syndrome) might summarize the eye changes. They include papillary edema, flattening of the posterior wall of the eye with hypermetropization, fold in the retina and choroid, thickening of the nerve fiber layer, cotton wool spots within the retina. Space flight is differentiated according to the time. If it is shorter than 6 months it is called SDSF (Short Duration Space flight), if it is longer than 6 months LDSF (Long Duration Space Flight). According to studies severe visual problems are usually not encountered during space flight. Usually optic disc edema resolving within 6 months, hyperopic shift might stay longer, although it can be corrected with spectacles. The „Head Down Tilt Bend Test” (HDTBT) is the most suitable to modelize the effect of microgravity among Earth circumstances. During this the head of the patient is placed 6 degree lower in supine position. The exact pathomechanism of SANS should be further examined, with special focus on LDSF ophthalmic consequences.

KULCSSZAVAK

űrutazás, neuro-ocularis szindróma, SANS

KEYWORDS

space flight, neuro-ocular syndrome, SANS

A világűr meghódítása és a Holdra, továbbá a szomszédos bolygókra való eljutás az emberiség régi álma. A Holdra már több mint 50 éve eljutott az ember, valamint a Nemzetközi Űrállomáson (International Space Station) is többen teljesítettek több hónapos szolgálatot a súlytalanság körülményei között. A súlytalanságnak, továbbá az ún. mikrogravitációnak lehetnek rövid- és hosszú távú hatásai az emberi szervezetre, illetve látásunkra. Ezen belül megkülönböztetünk rövidtávú hatásokat, Short Duration SpaceFlight (SDSF), továbbá hosszú távú hatásokat, Long Duration SpaceFlight (LDSF). A rövidtávú hatásnak számít a 6 hónapon belüli űrutazás, hosszú távú hatás a 6 hónapot meghaladó súlytalanság állapotában való tartózkodás. Az űrhajósokat érő természetes hatások a magyar űrhajós programmal nálunk is előtérbe kerülnek és a magyar űrhajózási programnak fontos része lehet a szemészeti és belgyógyászati eltérések további elemzése. A programba történő kiválasztáshoz a Semmelweis Egyetem Szemészeti Klinikáján számos elővizsgálatot végeztünk, amelynek összegzése egy későbbi közlemény témája lesz. Jelen kéziratban a jelenleg ismert belsőszervi és szemészeti eltéréseket kívánjuk összefoglalni a patofiziológiai jellemzők ismertetése mellett.

A szervezetben, mint az ismeretes fiziológiás változások következhettek be a súlytalanság állapotában a vázizom-rendszerben, szkeletális izomatrófia alakulhat ki, ezért az asztronautáknak különféle edzésprogramokat fejlesztettek és fejlesztenek ki. Csökken a csontállomány is, a kardiovaszkuláris rendszerben is degeneratív folyamatok indulhatnak és további belsőszervi tünetek alakulhatnak ki.

A legfontosabb belsőszervi változások

Földi körülmények között az izmok és a csontok állandó terhelésnek vannak kitéve. A súlytalanság állapotában az egyik legismertebb változás a csontsűrűség-vesztés, amely

hosszabb időtartamú űrutazásoknál akár csonttöréshez is vezethet. A másik ilyen hatás az izomvesztés (1). A csökkent izomaktivitás miatt az űrhajósok izomtömege csökkenhet, ezért fizikai teljesítményük és állóképességük csökken, folyamatosan edzésben kell tartaniuk magukat. A folyadék egyensúly megbomlása miatt vese- (2) és szívproblémák (3) léphetnek fel, a nyirokrendszer változásai az immunrendszer csökkenéséhez vezethetnek. A légzés nehézkessé válhat (tüdő ödéma). A tüdőben lévő levegő nagyobb térfogatot foglalhat el, ennek oka, hogy nincs gravitációs hatás, amely az alveolusokat összenyomná, a légzés hatékonysága csökken (5). A nagyobb erekből (aorta) kevesebb vér áramlik a láb felé, ezzel szemben több vér áramlik a felső végtagok és a fej felé. A gyomor és a belek érintettsége miatt emésztési problémák, hasi puffadás alakulhat ki, alkalmanként hányinger, hányás, hasmenés alakulhat ki (5, 6). Kedvezőtlen pszichológiai hatások is felléphetnek, mivel hosszú időt kell eltölteniük zárt térben, ahol a mozgástér jelentősen korlátozott. Stressz, szorongás, álmatlanság léphet fel az elszigeteltség és a zárt tér miatt.

Enzimszintű változások

A súlytalanság csökkenti a máj fehérjeszintézist, a testben fehérjehiány alakulhat ki, következményes ödémákkal. A lipidanyagcsere is megváltozhat, amely kedvezőtlenül változtathatja a máj zsíryanagcserejét és az epetermelést. A máj glikogénraktározása is kedvezőtlenül alakulhat, azaz csökkenhet a máj glikogénszintje, amely a test energiaszintjét és teljesítményét csökkenti. A májenzimek szintjének általános csökkenése miatt a gyógyszerek lebomlása is változhat (6).

Szemészeti panaszok

Az űrhajósok általános szemészeti panaszai közül kiemelhetők a

következők: látásromlás, sokszor panaszok a látóélesség csökkenésre, romlik a távolságérzés és a színek érzékelése. A vakfolt megnagyobbodása látótérvizsgálattal igazolható, emellett csökken a kontrasztérzékenység, a világos és sötét területek elkülönítése nehézkes lehet. Az űrhajósok gyakran panaszok fejfájásról, ennek okai között szerepelhet az oxigénszint csökkenése, illetve az űrrepülés kezdetén a szemnyomás megemelkedése. A gondosan kivitelezett szemfenék-vizsgálat papillaödémát és strukturális retinaeltéréseket igazolhat (7, 8).

Space Flight Associated Neuro-Ocular Syndrome = SANS

A szemben kimutatható strukturális elváltozásokat Űrutazással Kapcsolatos Neuro-Ocularis Tünetegyüttesnek (Space Flight Associated Neuro-Ocular Syndrome = SANS) nevezzük. Ezeket a strukturális elváltozásokat különböző képalkotó eljárásokkal lehet jellemezni és leírni. Ilyen műszeres vizsgálat az OCT és az MRI.

A neuro-ocularis elváltozásokat másik összefoglaló néven VIIP-szindrómának (Visual Impairment and Intracranial Pressure) néven szokták emlegetni, amely a kórkép patofiziológiai jellegére is utal, azonban a pontos mechanizmus egyes részletei még tisztázásra várnak.

A legfontosabb szemet érintő SANS-eltérések a fénytörés hypermetropia irányába történő eltolódása (hypermetropiás shift), a látóidegfő ödémája, a retinában és a chorioideában észlelhető redők (folds) kialakulása, a retinában az esetek egy részében észlelhető gyapottépésszerű gócok megjelenése. Klinikailag a papillaödéma lehet egyoldali, vagy kétoldali, lehet szimmetrikus és aszimmetrikus is. A hypermetropia kialakulásának hátterében a bulbus hátsó falának előrébb helyeződése (posterior globe flattening) állhat (9, 10). Gyakran OCT-vel vizsgálva

az idegrostréteg megvastagodását észlelheti a vizsgálo.

Nagyon fontos, hogy eddig a rövid távú űrutazások voltak az érdeklődés fókuszában, de a későbbiekben, a Holdon kívül a távolabbi bolygók ember általi meglátogatása is egyre valószínűbbé válik. Ebben az esetben az 1-3, vagy akár 5 évre tervezett űrutazások során szervezetet/szemet érő hatások nem elhanyagolhatóak és érdemes földi körülmények között is modellezni a potenciális mellékhatásokat. Az egyik leggyakrabban alkalmazott modell az úgynevezett Head Down Tilt Bend Test (HDTBT), azaz a fejet 6 fokkal lejjebb helyezik egy fekvőágyon, amelynek során a mikrogravitációs környezet hatását lehet megfigyelni.

Egy átfogó vizsgálatban az űrhajósok látással kapcsolatos elváltozásait a látóélesség vizsgálatával kezdték normál pupillatágasság, majd cycloplégiában végzett távoli és közeli visus meghatározásával, a legjobb látáshoz szükséges korrekció megállapítása mellett. A szemfenéki vizsgálatot és fundusfelvételek elkészítését követően retinavizsgálat és OCT-felvételek készültek, amelyet későbbiekben az űrrepülést követően is elvégeztek. A repülés előtt és után is agyi MRI-vizsgálat történt, valamint néhány esetben lumbálpunkciót végeztek a nyomásviszonyok és a cerebrospinalis folyadék összetételének vizsgálata céljából.

Az űrutazások során a szervezetet érő legfontosabb hatások a mikrogravitáció, vagy a gravitáció hiánya, a hypercarbia, azaz a magasabb CO₂-szint és a kozmikus sugárzás.

Az eddigi tapasztalatok alapján a mikrogravitációs környezetben 6 hónapnál rövidebb űrutazások során az asztronauták 29%-ában volt látáscsökkenés (hypermetropiás shift) megfigyelhető, míg ezzel szemben a hosszú távú űrutazásoknál ez az arány már 60%-os volt, azaz kétszeresére emelkedett. A hypermetropiás shift hatását pluszos szemüveg rendelésével ki lehetett korrigálni, azonban a hatása hosszú távon, akár évekig is megmaradhat az űrutazást követően. Fontos,

hogy az űrhajó irányítópultjának világító műszerei adatainak megítéléshez jó közeli látóélességre van szükség, tehát az asztronauták közeli látása a biztonság szempontjából elsődleges jelentőségű.

A repülés elején a szemnyomás 20-25%-os megemelkedését észlelték a kutatók, az űrhajósok körében az első 44 percben, majd a szemnyomás normalizálódik és tartós marad a repülés hátralévő idejére. A képkoptó eszközökkel a látóideg hüvelyének megvastagodását lehetett igazolni. A repülés után vett lumbálpunkció során a cerebrospinalis folyadék magasabb nyomással ürült, mint ahogyan azt tapasztalták a kontrollcsoport betegei körében.

A patofiziológiai eltérések megértésénél fontos annak ismerete, hogy a Földön vertikális irányú hidrosztatikus nyomás éri a szervezetet, azaz a nyomás az alsó végtagokban lesz a legmagasabb. A gravitáció csökkenésével a hidrosztatikus nyomás csökken, felfelé irányuló folyadék redistribúció indul, azaz a folyadékáramlás a fej felé irányul (cephalad irány). A lehetséges patofiziológia hátterében több elmélet/hipotézis született.

Az első szerint a magas intracranialis nyomás a vénás ágon hipertóniát okoz. A fej felé (cephalad) irányul a nyomásfokozódás az intravaszkuláris gravitáció hiányában. Idiopátiás intracranialis hipertenzió (IIH) alakul ki, következményes papillaödémával. A szemgolyó hátsó része benyomódik, a hypophysis konkáv alakban átformálódik, a nyele deformálódik. A v. jugularis tágul, vénás pangás alakul ki a mikrogravitációs környezetben, cerebrospinalis folyadék abszorpcióval. Általában az IIH esetén, amennyiben nincs papillaödéma fejfájás és pulzáló tinnitus alakul ki, ha van papillaödéma, akkor általában nincs kísérő fejfájás és fülzúgás. A papillaödéma akár 6 hónapig is fennállhat az űrhajósokban a legjobb korrigált visus lényeges csökkenése nélkül. Tehát ez egy morfológiai eltérés önmagában.

A második hipotézis szerint a mikrogravitáció miatt a n. opticus hüve-

lyébe folyadék kerül a subarachnoidealis térből, amely egy egyirányú billentyűszerű mechanizmus révén alakul ki. Visszafelé történő áramlás nincsen. A subarachnoidealis folyadék összetétele különbözik a látóidegben, illetve az agy körül található CSF-folyadék összetételétől. Ezt úgy hívjuk, hogy kompartmentalizáció, vagyis a kiegyenlítődés nem teljes mértékű a különböző agyi terekben.

A harmadik elmélet szerint nem az intracranialis nyomásfokozódás az ok a SANS hátterében, hanem az, hogy a folyadékáramlás a fej felé helyeződik át és ez átvedd a chiasmára, azaz a látóideg-keresztződésre is. A mikrogravitáció miatt a fej is enyhén rotálódik, a chiasma felfelé húzódik, a látóideg megfeszül. A látóideg hüvelyének összeköttetésben áll a csontos szemüreg periosteumával, amely komprimáló erővel hat a látóidegre, továbbá a bulbus hátsó falát előrébb nyomja. A látóideg 0,80 ± 0,74-mm-re lett rövidebb a vizsgálat alapján, a refrakció +0,75 D-től +1,5 D-ig növekedett (egyéenként különböző módon).

A LDSF modellezésére földi körülmények között a Head-down tilt bed teszt (6 fokos fejsüllyesztés tartósan), a supine (hanyattfekvés) bed rest, a wet immersion (fej lefelé vízbe merítve) és a Lower extremity limb suspension (alsó végtag felfelé rögzítése) állnak rendelkezésre. Ezek közül a Head-down tilt bed teszt a legelfogadottabb és legmegbízhatóbb vizsgálati módszer (11).

Mader és munkatársai 2011-ben 7 űrhajóst követtek a felszállás előtt és azt követően hosszabb ideig (9). A vizsgálatok során manifeszt és cycloplégiás refrakció mérést végeztek a távoli és közeli visus/legjobb korrigált látóélesség meghatározása céljából, a szemfenékről fotót készítettek, a szemfenéket ezenkívül OCT- és OCTA- (angiográfiás OCT) vizsgálatokkal is megvizsgálták, továbbá orbita ultrahangvizsgálatot és orbita és koponya MRI-t végeztek, az esetek döntő többségében űrutazást követően lumbálpunkció történt. Eredményeik szerint a vizs-

gált alanyok 71%-ában (5/7 fő) észleltek papillaödémát, a hátsó pólus előre helyeződését is 71%-ban, hypermetropiás shiftet 85%-ban (6/7 fő), chorioidea-redőket 71%-ban, az idegrostréteg megvastagodását 71%-ban, az idegrostréteg infarktuszát (gyapottépésszerű göcök) 42%-ban (3/7 fő) tapasztaltak. Az űrhajósok körében végzett lumbálpunkció során 66 nappal a földet érés után is még 22 vízcmm volt a kiáramló nyomás. A legjobb korigált visus minden esetben 20/20, azaz teljes volt. Fontos adat, hogy leszálláskor a súlytalanság helyett a legtöbb esetben +4 G decelerációs erő nehezedik az űrhajósok szervezetére. Megállapították, hogy a cerebrális artériaátmérők és a véráramlási sebességek az autoreguláció révén nem mutatnak eltérést a földi adatokhoz képest. Fontos lenne az angiográfiás eltérések jellemzése is OCTA-vizsgálat révén, amelyek a későbbiekben lehetségesek. Az űrbe MRI-készülék telepítése a súly- és helyigény miatt valószínűleg még sokáig nem lesz lehetséges.

A későbbiekben a Head-down tilt bed rest vizsgálatot alkalmazták a hátsó pólus előrébb helyezését modellezésében, illetve annak megállapítására, hogy a naponként végzett centrifugális erő meg tudja-e akadályozni a szemgolyó hátsó részének előrébb helyeződését, azaz a hypermetropiás shiftet képes-e kivédeni (11). A HDBRT-vizsgálat során sikerült előidézni a hátsó fal deformálódását, azonban a napi 30 perces antigravitációs centrifugakezelés sem tudta megakadályozni azt.

Egy másik vizsgálatban a magasabb CO₂-szint hatását vizsgálták a szemészeti eltérések vonatkozásában. Az űrhajókban általában mesterségesen magasabb szén-dioxid szintje, általában 4 Hgmm CO₂-szintemelkedés az űrhajósok 50%-ában papillaödémát vált ki (11). Azonban a hypercapniás ventilációs válasz során az artériás pCO₂-ben és a cerebrális válaszban nem volt különbség a kontrollcsoporthoz képest. Vagyis megállapításaik szerint az enyhén

hypercapniás környezet nem oki tényezője a SANS-szindrómának.

Megbeszélés

Összefoglalva a rövid-és hosszú távú űrutazások során számos szemészeti szövődmény lehetőség alakulhat ki, amelyek a legjobb korigált látóélességet az esetek döntő többségében nem rontják, a fénytörést azonban a hypermetropia irányába tolják el, azaz a közeli látáshoz korrekció viselése szükséges. Ez a korrekciós igény, függetlenül attól, hogy az űrhajós presbyop életkorban van, vagy sem, hosszútávon is fennmaradhat. A papillaödéma kialakulásának patomechanizmusa különbözik az agynyomás-fokozódás során fellépő papillaödéma mechanizmusától. Az idegrostréteg megvastagodása általában a papilla közelében történik és a legjobb korigált visust nem zavarja. Ugyan a direkt extrapolálás kérdéses, azonban mégis fontos a LDSF szemészeti és szervezeti hatásainak földi tanulmányozása a hosszú távú űrrepülések hatásainak modellezése céljából. Nem lehet kizárni a kozmikus sugárzás kataraktogén hatását sem, bár erre vonatkozóan kevés adat áll rendelkezésre. A SANS pontos patomechanizmusának megértéséhez további kutatásra és szemészeti vizsgálatokra van még szükség.

Patofiziológiai szempontból az űrutazások során tehát számunkra szokatlan súlytalanság és a káros kozmikus sugárzások hathatnak az emberi szervezetre. Ezen hatások következményeként a látással, az idegrendszerrel, az immunrendszerrel, a vázizomrendszerrel kapcsolatos problémák léphetnek fel, a hosszú távú űrutazásoknál (pl. Mars-expedíció) kardiovaszkuláris, limfatikus és vizuális károsodással kell számolnunk. Elváltozások léphetnek fel a citoskeletális filamentumok rendezettségében, endothel-elégtelenség és izomatrófia alakulhat ki. Ezen tényezők együttesen hemodinamikai, kardiovaszkuláris és limfatikus rendszerben okoznak eltéréseket. A súlytalanság

miatt folyadékátrendeződés alakulhat ki, az alsó végtagokban kevesebb véráramlás alakul ki, míg a felső végtagokban, az arcon és az agyban többlet véráramlás, intracranialis ödéma léphet fel, amely tünetegyüttest űrutazással kapcsolatos neuro-ocularis szindrómának (SANS = Space Associated Neuro-ocular Syndrome) nevezünk. Mint ismeretes az emberi szervezet a földi 1G gravitációs erőhöz és a minket körülvevő védőréteget képező mágneses térhez (magnetoszféra) alkalmazkodott. A földi körülmények között a gravitációfüggő hidrosztatikus erők tartják fenn a szervezet folyadék egyensúlyát (felső és alsó végtagok között), a magnetoszféra véd bennünket a káros kozmikus sugárzásoktól. A súlytalanság állapotában megszűnik ez a jellegzetes hidrosztatikus nyomásgrádiens és a folyadékáramlás a fej felé irányul, arc és agy ödémát létrehozva. A mikrogravitációs környezetben csökken a vénás nyomás, a plazmavolumen és ortosztikus intolerancia alakulhat ki. A földi viszonyok között a vérnyomás-grádiens kiegyenlíti a fej és lábak közötti keringési különbséget. A szédülés, ortosztikus kollapszushajlam mind a volumen-redistribúció káros következményei lehetnek. Megváltozhat az űrhajósok érzékelése, szaglása a paranazális sinusok duzzanata következtében, az ételek íztelenné válhatnak, csökken az étvágy, következményesen csökken a testtömeg, kardiovaszkuláris problémák, izom- és csontvesztés léphetnek fel. A citoskeletális izomaktivitás is gravitációfüggő a földi körülmények között, károsodhat a fehérjeállomány és a vázizomrendszer izomrostjai, ezen belül a miozin nehéz lánc és a szarkoplazmás retikulum protein izoformái. Másik probléma lehet patofiziológiai szempontból a megnövekedett véralvadás a cephalad (fej irányába történő áramlás) vénás rendszerben. A v. jugularis interna átmérője növekedhet, nő a vénás nyomás és csökken a vénás drenázs. Következésként vénás tágulat, endothelsérülés

és potenciális hiperkoaguabilitás léphetnek fel. Az endothel-diszfunkció károsíthatja az erekben az endothel remodellizálódását, amely elengedhetetlen az érfalstabilitáshoz. Következésképpen növekedhet a szervezetben a nitrit-oxid (NO) termelés az űri körülmények között, amely aktin átrendeződéshez vezethet, továbbá szabálytalan endothelsejt-migrációhoz. Védekezéshez az alsó végtagon mesterségesen létrehozott negatív nyomást hoznak létre eszközösen (LBNP = Lower Body Negative Pressure), ez már a Nemzetközi Űrállomáson elérhető. Az eszközzel sikeresen lehet létrehozni a földi körülményekhez hasonló gravitációs stresszt az alsó végtagokban, azaz a folyadékáramlás ismét az alsó végtag felé rendeződik át. A kozmikus sugárzás és a súlytalanság károsíthatja az endothelium-dependens vazodilatációt, amely cAMP-n keresztül a vaszkuláris simaizmokban hiperpolarizációt eredményez. A nem kívánt hatás ellen lehet gyógyszeresen védekezni, de talán hatékonyabb a protektív vízréteggel körül venni az űrhajót, amely elnyeli a kozmikus sugárzást és víztartalékot is képezhet az űrhajósok számára. A nyirokrendszer eltérései is szá-

mos szövődményt okozhatnak az űrhajósok számára. A nyirokáramláshoz szintén szükséges a földi körülmények között kialakult gravitációfüggő hidrosztatikus gradiens és a mozgás következtében kialakuló szöveti deformáció. Intrinsic és extrinsic mechanizmusok révén alakul ki a folyadékáramlás és billentyűk akadályozzák meg a retrográd visszafolyást. Űrutazás során a nyirokáramlás is károsodik, amely hátterében a csökkent hidrosztatikus nyomás, a csökkent szenzoros érzékelés, az alacsonyabb mértékű mechanikus stimuláció, a mozgáshiány állnak. Az interstitiális folyadéknyomás csökken, ezzel szemben az intramurális nyomás növekszik. Ezért a szövetekbe irányuló nettó folyadékáramlás nagyobb mértékű lesz, mint a szövetekből kifelé áramló folyadék mennyisége, tehát ödéma alakulhat ki, vagyis a transzkapilláris folyadék kifelé történő áramlása növekszik. Az arcödéma patomechanizmusában tehát a nyirokáramlásban bekövetkező változások is jelentős szerepet játszhatnak.

Következtetések

A hosszú távú űrutazások számos egészséggel kapcsolatos problémát

okozhatnak, amelyek az idegrendszer működésével és a vázizmok működésével kapcsolatosak. Ezek megfelelő tanulmányozása és a negatív hatások kivédése megelőzheti a káros következmények kialakulását és felkészíthetik az űrhajósokat és az emberiséget a hosszú távú űrutazásokra. Jelen közleményben elsősorban a SANS tüneteivel foglalkoztunk, amelyek az űrhajók irányításában, a számítógépes kommunikációban döntő jelentőséggel bírnak. Az ismertett patofiziológiai elváltozások megelőzése miatt kiemelt fontosságú a fizikai aktivitás megőrzése a mikrogravitációs környezetben, amely mind a vaszkuláris, a kardiovaszkuláris és az idegrendszeri szövődmények kivédésében is elsőrendű fontosságú.

Nyilatkozat

A szerzők kijelentik, hogy speciális összefoglaló közleményük megírásával kapcsolatban nem áll fenn velük szemben pénzügyi vagy egyéb lényeges összeütközés, összeférhetetlenségi ok, amely befolyásolhatja a közleményben bemutatott eredményeket, az abból levont következtetéseket vagy azok értelmezését.

IRODALOM

- Stein TP. Weight, muscle and bone loss during space flight: another perspective. *Eur J Appl Physiol* 2013 Sep; 113(9): 171–81. Epub 2012 Nov 29. Review <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2548-9>
- Liakopoulos V, Leivaditis K, Eleftheriadis T, Dombros N. The kidney in space. *Int Urol Nephrol* 2012 Dec; 44(6): 1893–901. Epub 2012 Sep 22. <https://doi.org/10.1007/s11255-012-0289-7>
- Ercan E. Effects of aerospace environments on the cardiovascular system. *Anatol J Cardiol* 2021 Aug; 25(Suppl 1): 3–6. PMID:34464290 <https://doi.org//AnatolJCardiol.2021.S103>
- Prisk GK. The lung in space. *Clin Chest Med* 2005 Sep; 26(3): 415–38. vi. PMID: 16140136 <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2005.05.008>
- Yang JQ, Jiang N, Li ZP, Guo S, Chen ZY, Li BB, Chai SB, Lu SY, Yan HF, Sun PM, Zhang T, Sun HW, Yang JW, Zhou JL, Yang HM, Cui Y. The effects of microgravity on the digestive system and the new insights it brings to the life sciences. *Life Sci Space Res (Amst)* 2020 Nov; 27: 74–82. Epub 2020 Jul 30. PMID: 34756233 <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2020.07.009>
- Vinken M. Hepatology in space: Effects of spaceflight and simulated microgravity on the liver. *Liver Int.* 2022 Dec; 42(12): 2599–2606. Epub 2022 Oct 12. PMID: 36183343 <https://doi.org/10.1111/liv.15444>
- Shinojima A, Kakeya I, Tada S. Association of Space Flight With Problems of the Brain and Eyes. *JAMA Ophthalmol* 2018 Sep 1; 136(9): 1075–1076. PMID: 29978215 <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.2635>
- Van Ombergen A, Demertzi A, Tomilovskaya E, Jeurissen B, Sijbers J, Kozlovskaya IB, Parizel PM, Van de Heyning PH, Sunaert S, Laureys S, Wuyts FLJ. The effect of spaceflight and microgravity on the human brain. *Neurology* 2017 Oct; 264(Suppl 1): 18–22. Epub 2017 Mar 7. PMID: 28271409 <https://doi.org/10.1007/s00415-017-8427-x>
- Mader TH, et al. Optic disc edema, globe flattening, choroidal folds and hyperopic shifts observed in astronauts after long duration space flight. *Ophthalmology* 2011; 118: 2058–2069. Epub 2011 Aug 17. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.06.021>
- Sater SH, et al. MRI based quantification of posterior ocular globe flattening during 60 days of strict 6 grade head-down tilt bed rest with daily centrifugation. *J Appl Physiol* 2022; 133: 1349–1355. Epub 2022 Nov 3. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00082.2022>
- Laurie SS, et al. Unchanged cerebrovascular CO2 reactivity and hypercapnic ventilatory response during strict head-down tilt bed rest in a mild hypercapnic environment. *J Physiol* 2020; 598: 2491–2505. Epub 2020 May 2. <https://doi.org/10.1113/JP279383>