

Sugárdózismérés a Nemzetközi Űrállomáson orosz–magyar együttműködésben – a Főnix kísérletsorozat első eredményei

Strádi Andrea, Szabó Julianna

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Sugárvédelmi
Laboratórium, Űrdozimetriai Kutatócsoport, Budapest

A versenyképes szaktudásnak és a korábbi sikeres orosz–magyar kutatói együttműködéseknek köszönhetően az MTA EK Űr-dozimetriai Kutatócsoportja már a kezdetekkor jelen volt a Nemzetközi Űrállomás (ISS) dozimetriai műszereinek fejlesztésénél. A méltán híressé vált Pille sugárdózismérő rendszer mellett az elmúlt években több projekt keretein belül volt és jelenleg is van szerencsénk részt venni a dózisterhelés vizsgálatában, mind az európai Columbus, mind az orosz modulok belsejében. Jelen összefoglalóban az Orosz Tudományos Akadémiával és az oroszországi Szövetségi Orvosbiológiai Ügynökséggel együttműködésben folyó Főnix elnevezésű kísérletsorozat első eredményit mutatjuk be.

A Főnix program 2014-ben indult azzal a céllal, hogy biológiai minták sugárérzékenységét vizsgálják űrbéli körülmények között, nyomon követve a genetikai állományban bekövetkező változásokat és a túlélési statisztikát [1]. Lévéen az űrben lényegesen nagyobb terhelésnek van kitéve az élő szervezet, mint a Földön, ezért a projekt eredményei jelentős mértékben hozzájárulhatnak az űrutazók egészségének védelmére irányuló kutatásokhoz. Korábbi mérésekből tudható, hogy az ISS fedélzetén az ionizáló sugárzásból származó dózis a földi háttér százszorosa is lehet [2, 3, 4].

A csontvelő sejteket és szárított limfocitákat tartalmazó mintatartó csövekből és a passzív (energiaellátást nem igénylő) doziméterekből álló kísérleti összeállításokat (1. ábra) az ISS orosz szegmensének három moduljában helyezték el, melyek funkciójukból adódóan különbözőképpen árnyékoltak a sugárzással szemben.



1. ábra: A Főnix program kísérleti egysége. Alul, a mintatartó csövekben sejt kultúrák, míg a fedélen a négyszögletes csomagokban a magyar és az orosz fél sugárdózismérő detektorai foglalnak helyet. (Fotó: IBMP)

A szerviz modul a kozmonauták által leginkább látogatott, ezért nagyobb védeettséggel rendelkezik, míg a két kutatómodul, az MRM-2 (Poiszk) és a Pirsz kevésbé árnyékolt. Előbbi a szerviz modulhoz zenit, utóbbi nadir irányban kapcsolódik (2. ábra). A Pirsz szegmens a Progressz teherűrhajók dokkolására szolgál, így egy légszilippel is rendelkezik, ezért érthető módon itt várható a legnagyobb dózis. Annak érdekében, hogy a hosszabb távú kitettség hatásait nyomon kövessék, két éven keresztül fél éves időközönként visszaszállítanak egy-egy mintát és dozimétert a földi laboratóriumba, ahol elkezdődhet a kiértékelési munka. Az első, fél éves fázis dozimetriai eredményeinek publikálása 2016 végén vált lehetővé [5].

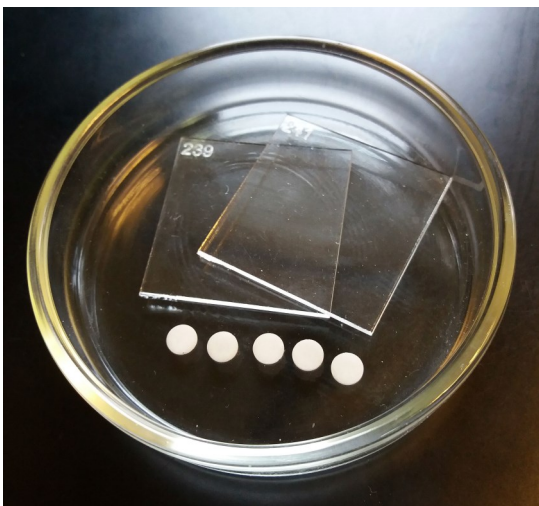


2. ábra: A Nemzetközi Űrállomás orosz szegmensei: zenit irányban az MRM-2 (Poiszk), a Föld felé, azaz nadir irányban a Pirsz, az űrállomás végében (jobbra) pedig a szerviz modul látható. (Fotó: Roszkoszmosz)

A passzív doziméterek mérési elve

A kísérletsorozatban használt szilárdtest nyomdetektorok és termolumineszcens detektorok (TLD) az elnyelt dózis mérésére alkalmasak és az áramellátást nem igénylő, ún. passzív eszközök közé tartoznak (3. ábra). A TLD-k olyan kristályos anyagokból készülnek, esetünkben lítium-fluoridból, melyekben sugárzás hatására reverzibilis változások történnek a kristályszerkezetben. A detektorok laboratóriumban történő kiolvasása során a fokozatosan növelt hőmérsékleten a kristályrács visszarendeződik és eközben az elnyelt dózissal arányos mennyiségű fényt bocsát ki, amely jól mérhető. A TLD-k nagy előnye, hogy hőkezelést követően újra felhasználhatók.

A nyomdetektorok vékony, átlátszó műanyag lapkák, melyek felületén apró lyukakat hoznak létre a becsapódó részecskék. Ezeket kémiai kezelés segítségével (nátrium-hidroxid oldatban való maratás) fénymikroszkóppal látható méretűre lehet felnagyítani. Az így kialakult nyomok geometriai paramétereinek (pl. átmérő, hossz, mélység) mérésével és az adatok megfelelő feldolgozásával következtethetünk a részecskék fajtájára és energiájára, ezáltal a detektort ért dózisa.



3. ábra: Passzív dózismérők. Felül a nyomdetektorok, alul a termolumineszcens dózismérők láthatók

Az elnyelt (abszorbeált) dózis számításakor sok esetben a különböző komponensek egy-egynyi úthosszon leadott energiáját (LET, Linear Energy Transfer) vesszük figyelembe. A TLD-k főleg a $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ -nél kisebb, míg a nyomdetektorok az ennél nagyobb LET-tel rendelkező sugárzásra érzékenyek. Az általunk mérhető teljes, vízre vonatkoztatott, $1000 \text{ keV}/\mu\text{m}$ alatti LET tartományra értelmezett dózist a két detektortípus eredményeinek konvolúciójával kapjuk meg [6].

Űridőjárási körülmények a Főnix program kezdetén

A kísérlet megkezdése egybeesett a jelenlegi, 24. napfoltciklus legintenzívebb időszakával. Ez az átlagosan 11 éves periódusokban ismétlődő jelenség a napfelszín mágneses aktivitásának legszembe-tűnőbb jelei, az ún. napfoltok számának változásában nyilvánul meg. A napfolttevékenység kísérői a flerek, vagy koronakitörések, amelyek következtében nagyenergiájú töltött részecskék dobódnak ki. Annak ellenére, hogy az aktuális ciklus az utóbbi száz év leggyengébbje volt, a földközeli űridőjárási viszonyokra, tehát a bolygónk mágneses tere által eltérített és befogott töltött részecskékből álló környezetére jelentős hatással volt. Ezen változások mérését végzi a GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) műholdcsalád. A töltött részecskék mennyisége azonban nem csupán a naptevékenység erősségétől függ, hanem az adott űreszköz földfelszínhez képesti magasságától is. Az alacsony Föld körüli pályán, 400 km körüli magasságban keringő ISS időről időre áthalad a dél-atlanti anomália területén, amely a mágneses tér által befogva

tartott nagyenergiájú töltött részecskék 200 km magasságig lenyúló övezete. Mivel ez a tér a Földtől távolodva kúpszerűen kiszélesedik, ezért minél magasabb pályán halad az ISS, annál hosszabb úton bombázzák az itt befogott részecskék. A Főnix program első fázisában, 2014 novembere és 2015 júniusa között az űrállomás a korábbi évekhez képest viszonylag nagy, 415 ± 5 km-es távolságban keringett.

Űrdozimetriai szempontból lényeges összetevői a sugárzási térnek a galaktikus eredetű részecskék is, melyek többnyire közel fénysebességgel haladó, elektronjaiktól megfosztott atommagok. Ezek mennyisége térben és időben nagyjából állandónak mondható és mivel jelentős áthatoló képességgel rendelkeznek, az űrállomás anyagában magreakciók során szignifikáns mértékű másodlagos sugárzást is létrehozhatnak.

A modulokban tapasztalt dózisviszonyok

Az előzőekben említett különféle részecskék különböző mennyiségű energiát adnak le az anyagban megtett útjuk során, így teljes körű mérésüket széles LET tartományban érzékeny detektorokkal lehet elvégezni. Erre alkalmas a kombinált, TLD-kból és nyomdetektorokból álló mérőegység, amelyet az orosz és a magyar fél is alkalmaz. Habár e két doziméter egység igen hasonló, a csoportok által alkalmazott kiértékelési módszerekben van némi különbség, így lehetőség nyílt a párhuzamos mérések révén e módszerek összevetésére is.

A kapott eredmények azt mutatják, hogy nagyságrendileg a feltételezett árnyékolási viszonyoknak megfelelően alakultak a dózisok. Mindkét csoport a Pirsz modulban mérte a legnagyobb értékeket és a szerviz modulban a legkisebbeket. Az irodalomban fellelhetőek az ugyanezen modulokban a 23. napfoltciklus végén [2] és a 24. ciklus elején [3], e periódusok legcsendesebb időszakában mért abszorbeált dózisok, amelyekhez képest jelentősen megnövekedett értékeket tapasztaltunk: 25%-kal nagyobb dózist (265 ± 36 $\mu\text{Gy}/\text{nap}$) a szerviz modulban és több mint kétszeres dózist (732 ± 2 $\mu\text{Gy}/\text{nap}$) a kevésbé árnyékolt Pirszben. Az eltérés oka egyrészt a jóval aktívabb naptevékenység, így jelentősen több nagyenergiás töltött részecske, valamint az említett időszakokhoz képest közel 40 km-rel nagyobb keringési magasság lehet. Kodaira és kollégái 2007 és 2009 között a Pirsz modulban végzett méréseik alapján már kimutatták, hogy 20 km pályamagasság-növekedés 70%-os növekedést okoz a teljes abszorbeált dózisban [3].

Az abszorbeált dózis az anyag egységnyi tömegében elnyelt energiát adja meg, amit esetünkben vízre értelmezzünk, hiszen az emberi szövetek legnagyobb része is ebből áll. Annak érdekében,

hogy a különböző lineáris energia transzfer értékekkel rendelkező, ezáltal más-más biológiai károsító hatással bíró részecskék élő szervezetre jelentett veszélyét meghatározzuk, a dózisegyenértéket is kiszámítjuk (ezt úgy kapjuk, hogy a LET-től függő ún. minőségi tényezővel megszorozzuk az elnyelt dózist). Ennek alapján a Főnix program első fél évében a doziméterek mellett helyet foglaló sejtkultúrák a szerviz modulban nagyjából 0,7 mSv/nap, az MRM-2-ben 0,8 mSv/nap, míg a Pirsz modulban 1,6 mSv/nap dózist kaptak. Összehasonlításképpen a földi természetes eredetű háttérsugárzás értéke átlagosan 2,4 mSv/év. Ennél természetesen jóval nagyobb a foglalkozási sugárterhelésre vonatkozó korlát, ami az ESA űrhajósai és az orosz kozmonauták számára egész karrierjük során nem haladhatja meg az 1000 mSv-et [7]. Amennyiben tehát egy űrhajós mindvégig a Pirsz modulban tartózkodott volna a fél éves vizsgált időszak alatt, akkor a dóziskorlát közel egyharmadával egyenértékű sugártelelés érte volna.

Összefoglaló

A Főnix kísérletsorozat első, dozimetriai tárgyú eredményei alátámasztják, hogy a sugárterhelés monitorozására minden körülmények között szükség van, lévén egy üreszköz dózistere annak árnyékolása mellett számos tényezőtől, így a naptevékenység változó intenzitásától és a szintén nem állandó keringési magasságtól is jelentős mértékben függ. A projekt további részében a biológusok vizsgálatai és a dozimetriai tapasztalatok összevetése segítségül szolgálhat a bonyolult kozmikus sugárzási viszonyok biológiai hatásainak megértéséhez.

Köszönetnyilvánítás

A közlemény szerzői köszönetüket fejezik ki a kutatómunka során nyújtott szakmai segítségért Pálfalvi Józsefnek, valamint hálaival tartoznak a részvételi lehetőség felajánlásáért az Orosz Tudományos Akadémia Orvosbiológiai Problémák Intézetének (IBMP).

Irodalomjegyzék:

- [1] Karganov M.Y. et al. (2017): The "PHOENIX" Space Experiment: Study of Space Radiation Impact on Cells Genetic Apparatus on Board the International Space Station. Journal of Physics: Conference Series, 784, 012024
- [2] Ambrožová I. et al. (2011): Monitoring on board spacecraft by means of passive detectors. Radiation Protection Dosimetry, 144 (1-4), 605
- [3] Kodaira S. et al. (2013): Analysis of radiation dose variations measured by passive dosimeters onboard the International Space Station during the solar quiet period (2007-2008). Radiation Measurements, 49, 95
- [4] Berger T. et al. (2016): DOSIS and DOSIS 3D: Long term dose monitoring onboard the Columbus Laboratory of the ISS, Journal of Space Weather and Space Climate, 6, A39
- [5] Strádi A. et al. (2017): Comparative radiation measurements in the Russian segment of the International Space Station by applying passive dosimeters. Radiation Measurements (doi:10.1016/j.radmeas.2017.01.018)
- [6] Hajek M. et al. (2008): Convolution of TLD and SSNTD measurements during the BRADOS-1 experiment onboard ISS (2001), Radiation Measurements, 43, 1231
- [7] Cucinotta F.A. (2010): Radiation risk acceptability and limitations. <https://three.jsc.nasa.gov/articles/AstronautRadLimitsFC.pdf>