

A NUKLEÁRIS MEDICINA LABOROK KÖRNYEZETI HATÁSAI, HATÓSÁGI SZEMPONTOK AZ OAH ENGEDÉLYEZÉSI ELJÁRÁSAIBAN

Sarkadi Margit
margo.sarkadi@gmail.com

A kézirat beérkezett: 2024.február 27.

Közlésre elfogadva: 2024. május 27.

The patients who have undergone isotope diagnostic tests and isotope therapy treatments leave the nuclear medicine labs carrying different levels of radioactivity in their bodies, which means indirect emissions. Emissions from radioactive waste and waste contaminated with radioactivity result in direct emissions.

In the publication, I summarize the environmental effects of indirect emissions and direct emissions, the conditions to discharge patients, the fulfillment of the conditions, taking into account the path of the patients, radioactive waste management, and the official requirements during the licensing procedures. The activity of the radiopharmaceuticals administered to the patients, the type and radiation energy of the isotopes used, and the type and quantity of the radioactive waste generated are very important parameters.

I have tried to present the connection between the type and activity of radiopharmaceuticals used in diagnostic and therapeutic nuclear medicine laboratories, indirect emissions caused by radioactivity in the patients' bodies, and the direct emissions and environmental effects of the generated radioactive and radioactivity-contaminated waste.

Keywords: indirect and direct emission, radioactive waste, environmental impact

A nukleáris medicina laborokból az izotópdiagnosztikai vizsgálatokon és az izotópterápiás kezeléseken átesett páciensek távozása során a testükben különböző mértékű radioaktivitást visznek ki, mely indirekt kibocsátást jelent. A radioaktív hulladékok és a radioaktivitással szennyezett hulladékok általi kibocsátás közvetlen kibocsátást eredményez.

A cikk összefoglalja az indirekt kibocsátás és a direkt kibocsátás környezeti hatásait, a betegek elbocsátásának feltételeit, a feltételek teljesülését, figyelembe véve a betegek útját, a hulladékkezelést, valamint az engedélyezési eljárások során a hatósági követelményeket. Nagyon fontos paraméterek a pácienseknek beadott radiofarmakonok aktivitása, az alkalmazott izotópok típusa, sugárzási energiája, a keletkezett radioaktív hulladékok fajtája és mennyisége.

Munkámban megpróbáltam kapcsolatot teremteni a diagnosztikai és terápiás nukleáris medicina laboratóriumokban felhasznált radiofarmakonok típusa és aktivitása, a páciensek testében kivitt radioaktivitás által okozott közvetett kibocsátás, a keletkezett radioaktív és radioaktivitással szennyezett hulladékok közvetlen kibocsátása és környezeti hatásai között.

Kulcsszavak: közvetett és közvetlen kibocsátás, radioaktív hulladék, környezeti hatás

BEVEZETÉS

A nukleáris medicina laboratóriumok környezeti hatásai közé két fő kibocsátási típus tartozik.

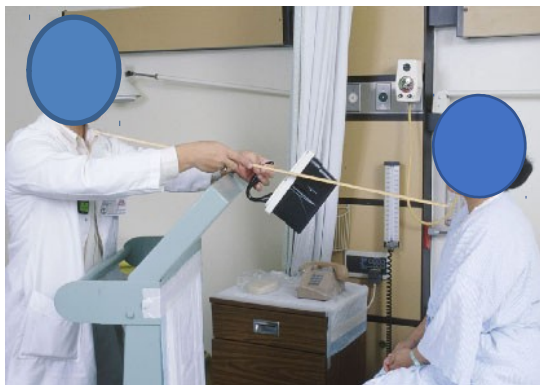
Közvetett kibocsátás: az aktív betegek, úgy az izotópdiagnosztikai vizsgálatok, mint az izotópterápiás kezelések utáni elbocsátása során, a beadott radioaktivitás egy részét intézményen kívülre a testükben kiviszik. Ebben az értelemben az izotópdiagnosztikai és izotóp terápiás tevékenység következtében indirekt radioaktív anyag kibocsátás történik, azonban a betegek távozáskor a testükben kivitt aktivitás kibocsátása térben és időben elkülönül egymástól.

Közvetlen kibocsátás: a radioaktív hulladékok, illetve radioaktivitással szennyezett szilárd, folyékony vagy légnemű hulladékokból származó kibocsátás.

Kutatásom célja az volt, hogy az OAH engedélyezési eljárásai alapján felfeltárjam, hogy a nukleáris medicina laborok környezeti hatásai milyen mértékű terhelést okoznak a környezetre nézve.

A BETEGEK ELBOCSÁTÁSÁNAK FELTÉTELEI

Az izotópdiagnosztikai vizsgálat és az izotópterápia után a 21/2018. (VII. 9.) EMMI rendelet az egészségügyi szolgáltatások nyújtása során ionizáló sugárzásnak nem munkaköri kötelezettségük keretében kitett személyek egészsége védelmének szabályairól szóló rendeletnek, vagy a mindenkor aktuális vonatkozó jogszabályoknak megfelelően be kell tartani az elbocsátási feltételeket. A 21/2018. (VII. 9.) EMMI rendelet alapján az alábbiak szerint kell eljárni: „24. § (1) Nyitott sugárforrásokkal végzett vizsgálatot vagy terápiát követően nem bocsátható el a beteg, amíg a radioaktív anyag a szervezetében olyan mértékű, hogy az várhatóan a környezetében tartózkodók 30 μSv -t meghaladó sugárterhelését okozhatja, vagy a teste középtengelyétől bárhol, 1 méter távolságban, erre alkalmas és hitelesített környezeti dózisegyenérték-teljesítménymérővel mért érték meghaladja a 25 $\mu\text{Sv/h-t}$.” Lásd 1. ábra.



1. ábra. Környezeti dózisegyenérték-teljesítmény mérése

ELBOCSÁTÁSI FELTÉTELEK TELJESÜLÉSE

Diagnosztikai eljárások során, a hagyományos nukleáris medicina vizsgálatok esetén, már a beadást követően, valamint az első vizeletürítés után, a Pozitron Emissziós Tomográfia (PET) vizsgálatok során, legtöbbször a vizsgálat végére (kb. 1,5 óra) teljesül az elbocsátási feltétel.

A Tc-99m-el jelzett radiofarmakonok a kiválasztással, elsősorban vizelettel ürülnek a szervezetből, de az aktivitás csökkenése, tekintve a rövid felezési időt (6 óra), legnagyobb részében a fizikai bomlásból származik. A beadott aktivitás kb. 1–2 %-a távozik a nukleáris medicina laborban a vizelettel. A beadás és a nukleáris medicina laboratóriumból történő távozás idejére 3 órát számolva, a beteg, a testében a beadott aktivitás kb. 69 %-át viszi

magával. Ennél a radioizotópnál azonban figyelembe kell venni a gyors fizikai felezést, továbbá, hogy a radioizotóp a különböző lágy szövetekben kötődik meg, ahol fizikailag bomlik le, így a radioaktív anyagnak az exkrétumokkal való teljes távozása, a beteg otthonában nem éri el a hazavitt aktivitás 1 %-át. Tehát a maximális beadott aktivitás esetén (800 MBq), a beteg otthonában az exkrétumokkal távozó aktivitás 5,52 MBq.

A felhasznált Tc-99m radioizotóp rövid felezési ideje miatt a környezeti felhalmozódása kizárható.

IZOTÓP TERÁPIÁS ELJÁRÁSOK

a) Radiojód terápia:

- Ambuláns kezelés (150 MBq – 550 MBq): a beadást követően minimum 2 óra várakozás az aktív váróban, majd az elbocsátási feltétel teljesülése után általános sugárvédelmi szabályokkal történő elbocsátás.
- Kórházi bent fekvő terápia (550 MBq – 5500 MBq): minimum 5 napig történő bent fekvés az izotópterápiás kórteremben, majd az elbocsátási feltétel teljesülése után szigorú sugárvédelmi szabályokkal történő elbocsátás.

Ambuláns radiojód terápia esetén a beadott aktivitás minimum 26 %-a a pajzsmirigyben halmozódik, és innen 8 napos fizikai felezési idővel és 80 napos biológiai felezési idővel ürül ki. Ez azt jelenti, hogy a pajzsmirigynél az aktivitás csökkenést elsősorban a fizikai felezés (8 nap) okozza, az aktivitás közel 74 %-a az exkrétumokkal távozik és ebből 30 % a nukleáris medicina laborban, míg a maradék 44 % a beteg otthonában. Tehát a maximálisan beadott aktivitás esetén (550 MBq) a beteg otthonában az exkrétumokkal távozó aktivitás 242 MBq.

Bent fekvő nagydózisú radiojód terápia során a betegek 5 napig tartózkodnak a terápiás kórteremben. Az első 1–3 nap alatt a beadott aktivitás zöme távozik a vizelettel.

A teljes bent tartózkodási idő alatt a vizelettel kiürülő aktivitás, ami a beadott aktivitás legalább 62 %-a, zárt dezaktiváló rendszerben kerül gyűjtésre, amelyből a bekerült radiojód lecsengéséig nem történik kibocsátás. A bent tartózkodás alatt a széklettel ürülő aktivitás a teljes aktivitás kb. 2 %-ának tekinthető, ezért a vizelettől elválasztott székletet nem gyűjtik. A beadott aktivitás kb. 74 %-a az exkrétumokkal távozik és ebből 64 % a bent fekvés során, míg a maradék 10 % a beteg otthonában. Tehát a 3700 MBq beadott aktivitás esetén a beteg otthonában az exkrétumokkal távozó aktivitás 370 MBq. Természetesen ez akkor igaz, ha a beteg pajzsmirigye megtartott. A felhasznált I-131 radioizotóp rövid (8 nap) fizikai felezési ideje miatt a környezeti felhalmozódása kizárható az ambuláns és a bent fekvő radiojód terápia esetén is.

- b) *Daganat terápia*: I-131 MIBG-el és Lu-177-el (3700 MBq – 11000 MBq) minimum 4–5 napig történő bent fekvés az izotópterápiás kórteremben, majd az elbocsátási feltétel teljesülése után szigorú sugárvédelmi szabályokkal történő elbocsátás.
- c) *Fájdalomcsillapító (palliatív) izotópterápia*: ambuláns kezelés, néhány óra (2–3 óra) aktív váróban történő várakozás után, az elbocsátási feltétel teljesülése mellett általános viselkedési és sugárhigiéniai szabályok betartásával történő elbocsátás.
- d) *Ízületi terápia*: ambuláns kezelés, esetleg kórházi bent fekvéssel. Térdízület kezelése esetén a közönséges kórteremben történő kórházi immobilizáció kötelező. A megfelelő immobilizációs idő eltelte után, az elbocsátási feltétel teljesülése mellett, általános viselkedési és sugárhigiéniai szabályok betartásával történő elbocsátás. Környezeti kihatás gyakorlatilag elhanyagolható.

Ambuláns és bent fekvő kezelés elbocsátott betegei részére egyaránt írásos sugárvédelmi tájékoztató szükséges.

1. táblázat. Leggyakrabban alkalmazott diagnosztikai célú radioizotópok és jellemzőik

Radioizotóp	Felezési idő	Energia γ (keV)	K_γ
Tc-99m	6 óra	140	$1,97 \times 10^{-5} \text{ mSvh}^{-1} \text{ MBq}^{-1} \text{ m}^2$
F-18	109,8 perc	511	$136,46 \text{ } \mu\text{Gyh}^{-1} \text{ GBq}^{-1} \text{ m}^2$

2. táblázat. Leggyakrabban alkalmazott izotópterápiás kezelésekre használt radioizotópok és jellemzőik

Radioizotóp	Felezési idő	Energia γ (keV)	Energia β (keV)	Energia α (keV)	K_γ ($\mu\text{Gyh}^{-1} \text{ GBq}^{-1} \text{ m}^2$)
I-131	8 nap	364	248–807	-	50,2
Ho-166	26,8 óra	81	184	-	-
Lu-177	6,6 nap	113; 208	490	-	4,7
Ra-223	11,4 nap	10-1270	445–492	5000–7500	0,06 $\mu\text{Svh}^{-1} \text{ MBq}^{-1} \text{ m}^2$
Sm-153	46,3 óra	103	max. 810	-	4,5
Y-90	64 óra	1730	2250	-	0,45

RADIOAKTÍV HULLADÉK A NUKLEÁRIS MEDICINÁBAN

Nyitott radioaktív készítmények izotópdiagnosztikai és izotópterápiás felhasználása speciális esetben radioaktív hulladék, illetve általában radioaktivitással szennyezett hulladék keletkezésével jár.

A radioaktív hulladék esetében a szennyező radioizotóp aktivitása is, és specifikus aktivitás koncentrációja is meghaladja a vonatkozó mentességi szintet, mely lehet szilárd, folyékony és légnemű.

A nukleáris medicinában diagnosztikai vagy terápiás célra rutinszerűen használt radioizotópok olyan rövid felezési időjűek (< 65 nap), hogy azokat elegendő lebomlásig tárolni. Olyan radioaktív hulladék, amit ki kellene bocsátani, nem keletkezik.

Radioaktív hulladékok típusai

a) Szilárd hulladék:

- használt izotópgenerátorok;
- kalibráló, képminőség ellenőrző/javító zárt sugárforrások;
- üres ampullák, használt injekciós tűk, fecskendők, törölő/felitató papírvatta;
- szűrőpapírok, vatták, védőkesztyűk, szennyeződött ruhaneműk;
- bent fekvő terápiás beteg által használt tárgyak.

b) Folyékony hulladék:

- fel nem használt radioaktív folyadékok;
- jódterápiás betegek vizelete;
- folyadékszintillációs oldatok (in vitro izotópdiagnosztika);

c) Gáznemű hulladék:

- tüdőventillációs vizsgálatok során keletkezik;
 - elszívásos védelem, párolgásra hajlamos készítmények kezelésénél;
 - betegek által kilehelt levegő (kórházi fekvőbeteg jódterápiánál).
- d) Biológiai hulladék:
- vérrel, egyéb testnedvvel szennyezett hulladék;
 - izotópos műtétek során keletkező hulladék;
 - állatkísérletek során keletkező hulladék.
- e) Zárt radioaktív sugárforrások, amelyeket kalibrációra, képminőség ellenőrzésre, illetve javításra használnak, valamint az anatómiai jelölőceruzák. A zárt sugárforrásokat radioaktív hulladékként Püspökszilágyban el kell temettetni (végleges elhelyezés). Lásd 2. ábra. Ritkábban újra tokozás és újra felhasználás történik. Egyes gyártmányoknál a gyártó a sugárforrást cseréli és elszállítja.



2. ábra. Zárt sugárforrások

RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSE

A napközben összegyűjtött radioaktív hulladékot, valamint a használt izotópgenerátort a radioaktív hulladéktárolóban kell elhelyezni. A hulladéktárolóban lévő anyagokon fel kell tüntetni a hulladék jellegét, az izotóp fajtáját, a benne lévő aktivitás becsült értékét, az elhelyezés és a várható lebomlás dátumát. A biológiai hulladékot a többi hulladéktól külön kell gyűjteni. Biológiai hulladékot 48 órán túl az aktív hulladéktárolóban elhelyezett hűtőszekrényben kell tárolni.



3. ábra. A meglelaborban a radiofarmakonok beadásra történő előkészítésénél kis mennyiségű radioaktív hulladék keletkezik.



4. ábra. Napközben keletkező radioaktív hulladék gyűjtésére szolgáló tárolók, radioaktív hulladéktároló

RADIOAKTIVITÁSSAL SZENNYEZETT HULLADÉK KIBOCSÁTÁSA

Kibocsátás: tekintettel arra, hogy mind az izotópdiagnosztikában, mind az izotópterápiában alkalmazott radioizotópok felezési ideje 65 napnál rövidebb, a hulladékot „lecsengésig” kell tárolni.

„Lecsengésig tárolás” legalább 10 felezési ideig történő tárolást jelent.

Kalibráló zárt sugárforrások: felezési idejük jellemzően 65 napnál hosszabb. A kalibráló zárt sugárforrásokat Püspökszilágyban el kell temettetni.

Izotóp generátor: lecsengésig ($> 1 \text{ MBq}$) történő tárolás: minimum 40 nap.

ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉS

Az aktív betegek által kivitt radioaktivitásnak, tehát a közvetett kibocsátásnak is vannak környezeti hatásai, amik elsősorban a közvetlen környezetet, leginkább a családtagokat, másodsorban a külső környezetet érintik.

Ugyanakkor a betegek távozáskor a testükben kivitt aktivitás kibocsátása térben és időben elkülönül egymástól.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a környezeti hatások mérsékeltek, a radioizotópok felhalmozódása kizárható úgy a diagnosztikus, mint a terápiás eljárások alkalmazása során.

Fontos tényező a kihatások további csökkentése érdekében, hogy a betegeket részletes sugárvédelmi tájékoztatóval bocsátják el, melyben a leírt sugárhigiéniai szabályok betartására hívják fel a figyelmüket.

Továbbá megállapíthatjuk, hogy a radioaktív hulladékok közvetlen kibocsátásával a nukleáris medicina laborok a környezetet nem terhelik, köszönhetően annak, hogy radioaktív

hulladék csak kórházi fekvőbeteg jódtérápia során keletkezik, ahol az összegyűjtött radioaktív vizet lecsengésig tárolják.

Radioizotópokkal kismértékben szennyezett hulladékok kibocsátására ugyanakkor sor kerül (pl. aktív beteg WC tartalma). Köszönhetően az alkalmazott diagnosztikai és terápiás radiofarmakonok rövid felezési idejének, a környezet ebből származó terhelése egyrészt nem jelentős és átmeneti, másrészt a radioaktív szennyeződés nem képes felhalmozódni.

IRODALOM

- [1] 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről
- [2] 21/2018. (VII. 09.) EMMI rendelet az egészségügyi szolgáltatások nyújtása során ionizáló sugárzásnak nem munkaköri kötelezettségük keretében kitett személyek egészsége védelmének szabályairól
- [3] MSZ 62-7:2017. Ionizáló sugárzás elleni védelem. 7. rész: Sugárvédelem nyitott radioaktív anyagok alkalmazásakor
- [4] IAEA: International Atomic Energy Agency: Release of Patients after Radionuclide Therapy. SRS No. 63. IAEA Vienna, 2009
- [5] IAEA: International Atomic Energy Agency: Nuclear Medicine Physics. IAEA Vienna, 2014
- [6] Egészségügyi Minisztérium szakmai irányelve: a csontáttétek nyitott radioaktív izotópokkal történő kezeléséről. Nukleáris Medicina Szakmai Kollégium. Egészségügyi Közlöny, 2006. év 5. szám
- [7] OSSKI Módszertani Útmutató: Izotópos Munkavédelmi Szabályzat. Budapest, 2011
- [8] Egészségügyi Minisztérium szakmai irányelve: pajzsmirigybetegek kezeléséről ¹³¹I-jód izotóppal. Nukleáris Medicina Szakmai Kollégium. Egészségügyi Közlöny, 2008. év 3. szám
- [9] Nuclide Safety Data Sheet Fluorine – 18, www.nchps.org