

VÁLASZOK BÍRÁLATRA

Pántya Annamária

„Belső sugárterhelés meghatározására alkalmas módszerek fejlesztése”
című doktori értekezéséről

Bíráló: Dr. Pesznyák Csilla, egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és Országos Onkológiai Intézet.

Köszönöm szépen a bíráló észrevételeit.

Kérdések:

1. Milyen mérési protokollt alkalmazna egy valós nukleáris sugárbaeset esetén érintett személyek (lakosság, munkavállaló) vizsgálatára?

A nukleáris balesetek hatékony kezelése érdekében előzetes felkészülés szükséges. A nukleáris létesítmények balesetelhárítási tervekkel rendelkeznek, amelyek meghatározzák a szükséges lépéseket.

Elsődleges feladat a kritikus adatok gyűjtése, mely magába foglalja az érintett személyek életkorát, nemét, egészségi állapotát, valamint az expozíció idejét és helyét. Ezen adatokat felhasználva a feltételezett expozíciós szintek és/vagy a kockázat szerint kell osztályozni az érintetteket. A személyek osztályozása a baleset földrajzi közelsége és az expozíciós valószínűség szerint történhet.

- Erősen érintett csoport: azonnal meg kell kezdeni a dekontaminálásukat és vizsgálatukat
- Közepesen érintett csoport: vizsgálati módszerek és életkor szerint további besorolás után a megfelelő vizsgálatok elvégzése.
- Alacsony kockázatú csoport számára általános szűrés szükséges.

Atomerőművi baleset esetén az első lépés a radioaktív termékek mérése. Az érintettek száma és a baleset időbeli lefolyása alapján előzetes szűrővizsgálatok („screening”) is szükségessé válhatnak, ahol:

- A testfelület szennyezettségét vizsgálják,
- Radiojód-kibocsátás esetén a pajzsmirigy feletti dózisteljesítményt mérik.

Az egészségkárosodási szinteket előre meg kell határozni, és ehhez megfelelő intézkedéseket kell társítani, beleértve a folyamatos nyomon követést is.

Mérési módszerek:

- Egésztest-mérés: A testben lerakódott radionuklidok gamma-sugárzásának detektálására szolgál.
- Résztest-mérés: Alkalmas az inhalált radionuklidok (pl. plutónium vagy urán aeroszolok a tüdőben) és a pajzsmirigyben felhalmozódott radiojód kimutatására.
- Biológiai mintaelemzés: Alfa- és béta-sugárzó radionuklidok azonosítása.

Nagy hangsúlyt kell fektetni az érintett személy adatainak rögzítésére és nyomon követésére, melyhez hozzájárul az ismételt vizsgálatok elvégzése és a hosszú távú hatások monitorozása.

Szükséges az eredmények, kockázatok és javasolt lépések részletes ismertetése az érintettekkel, például egészségügyi tanácsadás, diétás javaslatok a radionuklidok eltávolításának elősegítésére.

2. A nukleáris medicinában az utóbbi időben jelentősen megnövekedett a különböző izotópok terápiás alkalmazása, a Jelölt szerint szükség lenne-e a nukleáris medicina dolgozóinak a folyamatos belsődozimetriai ellenőrzés, és ha igen, milyen mérési módszereket ajánlana?

A nukleáris medicinában dolgozók esetében a belső sugárterhelés mérésének szükségességét több tényező figyelembevételével kell eldönteni. Nem csak a kezelt izotóp mennyisége számít, hanem annak fizikai és kémiai formája, az elvégzett műveletek típusa és gyakorisága, valamint a munkavégzés során alkalmazott védelmi eszközök hatékonysága is. Amennyiben a munkahelyen többféle radioizotóppal dolgoznak, a végső döntés meghozatalához az egyes izotópokra vonatkozó kockázati tényezőket összegezni kell, hogy pontos képet kapjunk a potenciális belső sugárterhelés mértékéről.

A triage („screening”) monitoring program alkalmazható a nukleáris medicinában dolgozók esetében, mivel a szakmában használt radionuklidok többsége rövid felezési idejű, így gyakori mérésekre van szükség. Emellett a potenciálisan érintett dolgozók száma is jelentős. Ez a mérési program helyszíni ellenőrzést tesz lehetővé az általánosan elérhető mérőeszközökkel, például dózisteljesítmény-mérőkkel és felületiszennyezettség-monitorokkal. Az eredményeket egy előre meghatározott küszöbértékkel kell összevetni, amelyet úgy határoznak meg, hogy a sugárterhelés a dolgozó által kezelt radionuklidok esetében az éves megengedett 1 mSv lekötött effektív dózist (E50) egyetlen mérési periódus alatt se lépje túl.

$$S = \frac{E_{50}}{N(\tau)} \frac{m\left(\frac{\tau}{2}\right)}{e_{inh}}$$

Ahol $N(\tau)$ szűrővizsgálat méréseinek száma évente, $m\left(\frac{\tau}{2}\right)$ retenciós függvény, e_{inh} dózisteljesítő.

A különböző radionuklidok esetében a szűrőeljárások az adott izotóp sajátosságaihoz igazodnak, például:

- I-123, I-124, I-125 és I-131 esetében az aktivitási küszöbértéket egy kalibrált, felületiszennyezettség-mérő monitorral mérik, amelyet a pajzsmirigy elé helyeznek.
- Ga-67, In-111 és Tl-201 esetén a küszöbértékeket az egész testben visszatartott aktivitás alapján határozzák meg. A szűrőméréseket tüdőmonitorral végzik, amely egy megfelelően kalibrált szcintillációs gamma-detektorból áll, melyet a mellkas elé helyeznek. A kalibrációhoz egyszerű mellkasfantomot használnak.
- C-11, O-15, F-18 és Ga-68 esetében a szűrési eljárás során a gyomor előtt mérik a dózisteljesítményt egy dózisteljesítmény-mérő segítségével.
- Y-90, Sm-153, Fr-169, Lu-177, Re-186 és Re-188 esetén a szűrés a kezek szennyezettségének mérésére irányul, amelyet közvetlenül a kezelés után, a kesztyű levételekor végeznek.

Ezek a módszerek önmagukban nem alkalmasak a dózis közvetlen értékelésére, de ha a küszöbértéket túllépi, meg kell kezdeni az inkorporált aktivitás pontos meghatározását. Ennek érdekében egésztest- vagy résztest-számlálást, illetve biológiai tesztekkel kell elvégezni, majd ezek alapján számítható a lekötött effektív dózis.

3. A Jelölt véleménye szerint milyen nehézségekkel szembesül a kutató egy nemzetközi összemérésen, illetve milyen összemérést kellene szervezni a belső sugárterhelés mérésének témakörében a jövőben?

A kutatóknak a nemzetközi összemérések során előforduló nehézségeik abból adódhatnak, hogy a laboratóriumok eltérő típusú felszereltségekkel rendelkeznek, mind detektorok (pl. HPGe, NaI, egyéb szcintillációs detektorok) mind az elemzési módszerek tekintetében, és a berendezések kalibrációjához használt fantomok, standard források és referenciaanyagok is változatosak lehetnek, amik némileg befolyásolhatják az eredmények összehasonlíthatóságát. Továbbá a jogszabályi környezet országonként valamelyest különböző lehet, mely eltéréseket okoz a mindennapi mérési protokollban.

A belső sugárterhelés mérésének fejlesztése érdekében az alábbi összemérések megszervezése javasolt:

- Fantom alapú in vivo mérés összemérése, ahol az in vivo mérések (pl. egésztest vagy résztest) pontosságának és kalibrációjának tesztelése a cél, ezek különböző radionuklidokat (pl. Cs-137, Co-60) tartalmazó standard fantomok használatával valósulhatnak meg. Egy ilyen összemérés során kihívást jelent a fantomok sugárvédelmi szabályok szerinti szállítása és tárolása és az időmenedzsment.
 - Biológiai minták elemzése, mely során vizelet- és székletminták radionuklid-elemzésével a laboratóriumok közötti reprodukálhatóság vizsgálható. Ehhez központilag előállított, ismert aktivitású standard biológiai minták szétosztására van szükség, itt a magas előállítási és szállítási költségek jelenthetnek problémát.
 - Alacsony aktivitású radionuklidok (pl. Ra-226, C-14) detektálási határainak és pontosságának vizsgálata. Nagy érzékenységgű technológiák (pl. tömegspektrometria, folyadékszintillációs számlálás) tesztelése erre felkészült radiokémiai laboratóriumok számára.
 - Sürgősségi protokollok tesztelésére is szükség van ahhoz, hogy a baleseti helyzetekben végzett gyors mérések hatékonyságának megvizsgáljuk. Valóságghű szimulációk szervezése különböző expozíciós helyzetekkel és radionuklidokkal.
 - Dózisszámítás harmonizációja: Ugyanazon adatsorból kiinduló számítások elvégzése az ajánlásokat követve és belső sugárterhelés területén alkalmazható szoftvereket használva.
- A nemzetközi összemérések kulcsszerepet játszanak a belső sugárterheléshez kapcsolódó mérési módszerek és a dózisbecslések során használt eljárások szabványosításában, a laboratóriumok közötti konzisztencia biztosításában és az új technológiák tesztelésében.

Az elmúlt években számos nemzetközi összemérésben vettünk részt:

- WBC német egésztest összemérés – Az IGOR/OLGA téglány fantomokkal és pajzsmirigy fantommal végzett mérések évente kerülnek megrendezésre Németországban, hogy az ottani laboratóriumok teljesíthessék az akkreditációs követelményeket. Többször volt lehetőségünk részt venni ezen a programon.
- EIVIC – A németországi összemérést kiterjesztették egész Európára, amely során a német fantomok köröztek, és a francia IRSN biztosította a hozzájuk tartozó forrásokat.
- LLNL pajzsmirigy összemérés – Az EURADOS pajzsmirigy fantomos mérése, amelyben a résztvevők meg is kapták a használt pajzsmirigy fantomot.
- CATHYMARA projekt – Ebben az összemérésben három különböző méretű pajzsmirigy fantom (felnőtt, serdülő, gyermek) mérését végeztük el veszélyhelyzeti protokoll alkalmazásával.
- PROCORAD összemérés – Évek óta részt veszünk a programban, különös tekintettel a vizeletminták H-3 és C-14 izotópjainak aktivitásmeghatározására, amelyet folyadékszintillációs méréssel végzünk. Emellett gamma-izotópok mérését is elvégezzük félvezetődetektoros technikával.
- ICIDOSE – Dózisszámítási összemérés, amelyben 2017-ben négy, 2024-ben öt különböző esetet vizsgáltak
- SEB összemérés– A legutóbbi EURADOS program keretében seb fantommal végzett aktivitásmérés történt.

Budapest 2025. 02.04.



Pántya Annamária