

VÁLASZOK BÍRÁLATRA

Pántya Annamária

„Belső sugárterhelés meghatározására alkalmas módszerek fejlesztése”

című doktori értekezéséről

Bíráló: Dr. Petrányi János, Gamma Zrt.

Köszönöm szépen a bírálatot.

Kérdések:

1. Hogyan optimalizálható a dózisbecslés pontossága az egyéni fiziológiai eltérések figyelembevételével?

Általánosságban elmondható, hogy a dózis meghatározása két lépésben történik: először mérési adatok alapján, majd a kapott eredmények modellek segítségével történő feldolgozásával becsülhető a sugárterhelés. Mind a mérések, mind a számítások jelentős bizonytalanságot hordozhatnak, amelyben az egyéni jellemzők is kiemelt szerepet játszanak.

A dózisbecslés pontosságának javítása érdekében – különösen az egyéni fiziológiai eltérések figyelembevételével – számos tényezőt kell integrálni a mérési és számítási folyamatokba. Ehhez szükséges a precíz méréstechnika, a modellezés és a biológiai válaszok folyamatos monitorozása.

Az optimalizált dózisbecslés érdekében figyelembe kell venni:

- Testtömeg és testösszetétel: A sugárzó anyagok eloszlását befolyásolja a zsírszövet és izomszövet aránya.
- Életkor és nem: Az anyagcsere- és metabolikus folyamatok eltérőek lehetnek különböző életkorú és nemű egyének esetében.
- Voxel-alapú numerikus fantommodellek: Ezek a testfelépítéshez és szervméretekhez igazított modellek lehetővé teszik a mérési határfok pontosabb kalibrálását, valamint az egyedi szöveti tulajdonságok figyelembevételét a dózis helyi eloszlásának meghatározásában.

A biokinetikai modellek módosítása szintén segíthet az optimalizált dózisbecslésben. Egyéni mintavételezéssel finomíthatók a radionuklidok felvételére, eloszlására, metabolizmusára és kiürülésére vonatkozó időbeli adatok.

Az ICRP által javasolt kompartment-modellek összetettek, teljes mértékben nem egyénre szabhatók. A paraméterek optimalizálása bizonyos határok között lehetséges, de nem végezhető el korlátlanul. A dózisszámításban mindig jelen lesz bizonytalanság, amely például a radionuklidok felvételi körülményeire vonatkozó információk hiányosságából adódhat.

Bár a mérési és modellezési bizonytalanságok csökkenthetők, egyes tényezők kiküszöbölhetetlenek maradnak. Az értékelés összetettségét ezért (a *graded approach* elvnek megfelelően) érdemes a dózis nagyságához igazítani, hiszen alacsony dózis esetén a részletes elemzés bizonytalanságai meghaladhatják a gyakorlati hasznot.

2. In vivo belső sugárterhelés mérés esetén a külső felületi szennyeződésből származó bizonytalanság csökkentésére milyen módszerek és protokollok alkalmazhatók?

Az in vivo mérések pontosságának biztosítása érdekében törekedni kell arra, hogy a méréseket tiszta bőrfelületen végezzük. Ennek érdekében az alábbi lépések szükségesek:

1. Szennyeződés eltávolítása a ruházatról
 - A ruházatról eltávolított szennyeződés nemcsak a mérési eredmény pontosságát javítja, hanem csökkenti a további kereszt-szennyeződés kockázatát (pl. a mérési személyzet, a mérőrendszer, más tárgyak szennyeződése).
 - Ennek ellenőrzése elengedhetetlen a mérés előkészítése során.

2. Szennyeződés eltávolítása a bőrfelületről
 - Dekontaminálási eljárások alkalmazása (pl. zuhanyozás, mosakodás).
 - Szűrőzet eltávolítása (borotválás), amennyiben szükséges.
 - Seben keresztül bejutott szennyeződés esetén a teljes eltávolítás nehézségekbe ütközhet.
3. Korrekciós lehetőségek
 - Ha a szennyeződés eltávolítása nem lehetséges vagy csak a mérést követően végezhető el, akkor korrekciós technikák alkalmazása szükséges.
 - Fantom-alapú kalibráció során ismert aktivitású forrásokat helyeznek a fantombőrre, így meghatározható a külső szennyeződésből eredő mérési hozzájárulás.
 - Bőrről vett minták laboratóriumi elemzése is segíthet validálni az in vivo mérési eredményeket.

A külső szennyeződés minimalizálásához szigorú munkavédelmi szabályok és protokollok betartása is szükséges. A személyzet megfelelő védőfelszerelést (pl. kesztyű, védőköpeny) kell használjon.

3. A belégzésből származó abszorpció mérésére tudna-e mondani módszereket, hogy egyén specifikus paramétereket lehessen használni a dózis becslés során?

A belégzésből származó abszorpció mérése és a dózisbecslés pontosítása összetett folyamat, amely figyelembe veszi az egyéni fiziológiai (pl. tüdőterefogat, légzési frekvencia) tényezőket, a belélegzett aeroszolok fizikai és kémiai tulajdonságait, valamint a radionuklidok metabolizmusát. Az alábbi tényezők segíthetnek a mérési és modellezési folyamatok finomításában.

A belélegzett radionuklidok abszorpcióját és lerakódását az aeroszolok fizikai paraméterei is meghatározzák. Az egyik legfontosabb tényező az AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter), amely meghatározza, hogy a részecskék a légutak mely régiójában rakódnak le. Az AMAD ismerete és pontos mérése (pl. aeroszol mintavételezők alkalmazásával) lehetővé teszi a lerakódási mintázatok pontos becslését. Ha az AMAD meghatározott és állandó, akkor a mérési eredményekből vissza lehet következtetni az abszorpció paramétereire, ami jelentősen javíthatja a dózisbecslés pontosságát.

Az abszorpció paraméter közvetlenül nem mérhető, mivel a tüdőben zajló folyamatok – lerakódás (depozíció) és a véráramba történő feloldódás – összetettek és egyéni eltéréseket mutatnak. A tüdő struktúrája, beleértve az elágazások mintázatát és az alveoláris felépítést, személyenként változó, ami tovább nehezíti az abszorpció pontos meghatározását. Az abszorpció paraméter egy modellfüggő változó: ha a y modellt megfelelően fogadjuk el, és elegendő mennyiségű és minőségű mérési adat áll rendelkezésre, akkor a modell paraméterei finomhangolhatók úgy, hogy a kapott eredmények a mérésekhez illeszkedjenek. Az abszorpció vizsgálatához különböző mérési adatokat lehet felhasználni, például:

- Bemeneti paraméterként az aeroszol aerodinamikai átmérője (AMAD) határozza meg, hogy a belélegzett radionuklidok a légutak mely részén rakódnak le.
- Mérési adatok: szervspecifikus mérések.
- Kimeneti adatok: a vizelet- és székletminták elemzése segít a szervezetből történő elimináció vizsgálatában.
- Közbülső mérési lehetőségek: a véráramban történő radionuklid-koncentráció mérése további információval szolgálhat az abszorpció folyamatok pontosításához.

Mivel közvetlen abszorpciómérés nem lehetséges, a folyamatra csak modellezés és mérhető paraméterek kombinációja révén lehet következtetni. Az időbeli lefolyás figyelembevételével és a rendelkezésre álló mérési adatok (pl. légzőszervi monitorozás, biológiai minták elemzése) integrálásával személyre szabott abszorpció paraméterek becsülhetők.

4. A szennyező anyagok vizeletben és székletben való eloszlásának vizsgálatára milyen megoldásokat lehet használni?

A rendszeres időközönként végzett vizelet- és székletminták elemzése kulcsfontosságú a belélegzett vagy lenyelt radionuklidok szervezetből való kiürülésének nyomon követésére. Ezek az adatok lehetővé teszik a sugárterhelés időbeli dinamikájának meghatározását, ami elengedhetetlen a pontos dózisbecsléshez. Leggyakrabban alkalmazott analitikai módszerek

1. Tömegspektrometria (MS, ICP-MS)

- Induktív csatolású plazma-tömegspektrometria (ICP-MS) az egyik legérzékenyebb módszer a nehézfém-szerű radionuklidok (pl. urán, plutónium, amerícium) kvalitatív és kvantitatív meghatározására.
- Rendkívül alacsony koncentrációban is képes kimutatni a célizotópokat, akár néhány Bq/kg aktivitású mintákból is.
- Előnye a gyors és pontos analízis, azonban a mintapreparálás és a szükséges műszeres háttér miatt költséges technika.

2. Gamma-spektrometria

- A gamma-sugárzó radionuklidok (pl. Cs-137, Co-60) meghatározására alkalmazott eljárás.
- HPGe detektorok használata lehetővé teszi a gamma-fotonok energiája alapján történő azonosítást és mennyiségi meghatározást.
- Mivel nem igényel kémiai előkészítést, a mérések viszonylag gyorsan elvégezhetők.

3. Folyadékszintillációs számlálás (LSC – Liquid Scintillation Counting)

- Alacsony energiájú béta-sugárzók (pl. H-3, C-14) kimutatására különösen hatékony.
- Alfa-sugárzók (pl. Pu-239, Am-241) mérésére is alkalmazható speciális diszkriminációs beállításokkal.
- A módszer egyik előnye, hogy általában nem szükséges kémiai előkészítés és a radionuklidok kémiai elválasztása.

A dózisbecslés pontosságát nagymértékben befolyásolja a minták megfelelő gyűjtése és reprezentativitása:

1. Vizeletminta:

- A napi vizeletürítés természetes variabilitása miatt 24 órás vizeletgyűjtés szükséges, ami azt jelenti, hogy naponta 5 különálló mintát kell rögzíteni a teljes kiválasztási folyamat lefedésére.
- Az egyes minták és a teljes napi mennyiségének pontos rögzítése kulcsfontosságú az aktivitáskoncentráció megbízható meghatározásához.

2. Székletminta:

- A bélen keresztül történő elimináció időbeli elhúzódása miatt a mintavételt legalább 72 órán keresztül kell folytatni, amely során legalább 3 székletminta szükséges.
- Fontos, hogy az elemzéshez felhasznált mennyiség arányosítva legyen az össz mennyiséghez, hogy pontos becslést lehessen készíteni.

A minták reprezentativitása döntő tényező a dózisbecslésben. A székletmintákból származó aktivitás adatok a dózisszámítás során harmadrendű pontosságúnak tekinthetők (a hozzá tartozó scattering faktor nagy), de a kezdeti székletmérés segíthet az effektív AMAD meghatározásában, ha azokat a korai tudómérési eredményekkel össze tudjuk vetni.

Budapest 2025. 02. 04



Pántya Annamária