Korszerű minőségellenőrzés és sugárvédelem a nukleáris medicinában

PhD értekezés tézisei

Dr. Séra Teréz

Szegedi Tudományegyetem
Nukleáris Medicina Intézet

2004

1. Bevezetés

Az orvosi diagnosztika fejlett technológiát alkalmazó szakterületein a teljes diagnosztikai folyamat minőségének rendszeres ellenőrzése elengedhetetlen. Az in vivo és in vitro vizsgálatokra használt nukleáris műszerek minőségellenőrzésére a Szegedi Tudományegyetem Nukleáris Medicina Intézetében 1991-ben korszerű minőségellenőrzési protokollt vezettünk be. Azidőtájt került beszerzésre a Siemens Diacam-Icon SPECT készülék, mely akkor Magyarországon a legkorszerűbb berendezésnek számított. Dinamikus vonalfantomot is vásároltunk, mellyel ellenőriztük gammakameráink és SPECT készülékeink detektorait.

Az Egészségügyi Világszervezet és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség 1994-ben nemzetközi körkísérletet szervezett a nukleáris medicinai csontvizsgálatok minőségének, fekete doboz típusú, transzmissziós csontfantommal történő ellenőrzésére. Hazánk is bekapcsolódott a körkísérletbe. Az intézetünkben összeállított protokoll alapján 22 hazai izotóplaboratóriumban végeztünk méréseket. Az eredményeket kiértékeltük, a résztvevőket saját teljesítményükről egyenként tájékoztattuk, emellett megadtuk anonim módon a hazai leggyengébb, legjobb, illetve átlagértékeket.

A Szegedi Tudományegyetemen 1994-1995-ben, FEFA támogatásával fejlesztettek ki egy digitális képtovábbító, képtároló és visszakereső (PACS) rendszert. Munkacsoportunk megvizsgálta, hogy kontrollált környezetben, fantomfelvételek továbbításakor milyen teljesítménnyel működik a rendszer.

1997-ben intézetünk bekapcsolódott az Oktatási Minisztérium által szervezett Országos Sugárfigyelő Jelző és Ellenőrző Rendszerbe (OSJR). Az OSJR feladatok finanszírozására biztosított keretből, az elmúlt évek során beszereztünk két darab nagy érzékenységű, a természetes környezeti háttér változásainak mérésére is alkalmas proporcionális számlálócsövet, egy Geiger-Müller számlálócsöves sugárzásmérő készüléket, egy felületi szennyezettségmérőt, illetve számítógépes programmal vezérelhető elektronikus személyi dozimétereket. A sugárvédelmi

eszközökkel számos diagnosztikai és terápiás tevékenységünk során végeztünk méréseket.

2. Célkitűzések

Munkám során a következő főbb kérdésekre kerestem választ:

1. A dinamikus vonalfantom gammakamerák mely paramétereinek vizsgálatára alkalmas?
2. A dinamikus vonalfantom milyen feltételek mellett alkalmazható a gammakamera detektorok homogenitásának vizsgálatára?
3. A transzmissziós fantomfelvételek minőségét miként befolyásolja a leképezésre használt síkforrás típusa?
4. A magyar laboratóriumok milyen színvonalon és milyen találati biztonsággal végeznek csontszcintigráfiát?
5. A Szegedi Tudományegyetemen üzembe helyezett digitális képtovábbító, képtároló és visszakereső (PACS) rendszer kontrollált környezetben, fantomfelvételek továbbításakor milyen hatásfokkal működik? Okoz-e a képtárolás illetve továbbítás információ veszteséget?
6. A ^{99m}Tc-DTPA radioaeroszollal végzett inhalációs tüdőszcintigráfiás vizsgálatok alkalmával milyen mennyiségű radioaeroszol jut ki a vizsgálóhelyiség légterébe, és az milyen mértékű háttérdózis emelkedéssel jár? A vizsgálatokat végző dolgozó mekkora dózisterhelésnek van kitéve és melyek az inkorporált radiofarmakonra jellemző kritikus szervei?
7. A melanoma malignum műtétekor, a radioaktív anyaggal jelölt nyirokcsomók intraoperativ detektálása és eltávolítása során a dolgozók milyen mértékű sugárterhelésnek vannak kitéve?

3. Módszerek

Minőségellenőrző méréseinkhez fantomokat (dinamikus vonalfantom, transzmissziós csontfantom, SPECT összparaméter-, máj-, pajzsmirigy-, CT-, ultrahang-, emlő-, DSA szoftver fantom) használtunk. A fantomfelvételeket részben vizuálisan, részben kvantitatíve, illetve ROC (Receiver Operating Characteristic) görbékkel értékeltük.

Sugárvédelmi vizsgálatainkhoz intraoperativ gammaszondát, proporcionális számlálócsövet, elektronikus és termolumineszcens személyi dózismérőket használtunk.

3.1. Gammakamera detektor minőségellenőrzése dinamikus vonalfantommal

A dinamikus vonalfantommal (radioaktív oldattal feltölthető, mikroprocesszor által vezérelt kapilláris cső) két darab MB9200-as típusú gammakamerán és egy Siemens Diacam-Icon SPECT készüléken, a detektorok homogenitásának, linearitásának, geometriai felbontásának, a látómező nagyságának vizsgálatára, valamint a vonalválaszfüggvény meghatározására, homogenitás, PLES (Parallel Lines Equally Spaced), forróvonal-, hidegvonal felbontás, modulációs átviteli függvény (MTF), BRH (Bureau of Radiological Health), OHTP (Orthogonal Hole Test Pattern), Dynamic Range, Hine Duley tesztfelvételeket készítettünk. A képeket vizuálisan és kvantitatívan értékeltük.

3.2. Gammakamera detektor homogenitásának vizsgálata dinamikus vonalfantommal

Négy darab kör alakú és egy négyszögletes detektorú gammakamerán a dinamikus vonalfantommal impulzushozam-aktivitás, illetve homogenitás-impulzushozam méréseket végeztünk, kollimátor nélkül és kollimátorral egyaránt. A homogenitás eredményeket ^{99m}Tc pontforrással, illetve ^{57}Co síkforrással kapott értékekkel hasonlítottuk össze.

3.3. Különböző sugárforrásokkal készített csontfantom-felvételek minőségének összehasonlítása

Transzmissziós csontfantom-felvételeket készítettünk három MB9200-as típusú gammakamerán, egy Siemens Diacam, illetve egy Elscint SPECT készüléken. A fantom átvilágításához feltölthető síkforrást, ^{57}Co síkforrást, illetve dinamikus vonalfantomot használtunk. A felvételeket három gyakorlott értékelő egymástól függetlenül, 1-4-es skálán score módszerrel értékelte. Az adatokból ROC görbéket szerkesztettünk és összehasonlítottuk a három különböző síkforrással kapott felvételek értékelésének eredményeit.

3.4. Magyarországi izotópdiagnosztikai laboratóriumokban végzett átfogó minőségellenőrzési körkísérlet

A WHO/IAEA csontfantommal 22 hazai laboratórium 28 készülékén, saját, illetve a nemzetközi körkísérlet protokollja szerint készítettünk felvételeket, illetve minőségellenőrző méréseket. A résztvevőknek arról kellett nyilatkozniuk, hogy a fantomfelvételeken látnak-e fokozott, vagy csökkent aktivitású területeket, és az elváltozást milyen biztonsággal (score: 1-4) tartják kórjelzőnek. Az értékelők teljesítményét, a megfelelő ROC görbe alatti terület nagyságával jellemeztük.

3.5. Nukleáris medicinai és radiológiai képek hálózati továbbításának minőségellenőrzése

A PACS hálózatunkba kapcsolt modalitások közül minőségellenőrzésre alkalmas fantomfelvételeket SPECT, CT, Ultrahang, MRI, DSA és Mammográf készülékeken végeztünk.

Az egyes modalitásokon készült digitális képekről röntgenfelvételeket készítettünk. Ezeket három független obszerver, az észlelés biztonságát 1-4-ig terjedő score módszerrel jellemezve, vizuálisan értékelte. A digitális felvételeket ott, ahol lehetőség volt rá, közvetlenül a hálózaton, a többi esetben pedig a filmscannerrel újradigitalizált képeket a képszerverhez továbbítottuk. A megjelenítő állomáson a

felvételeket ugyanaz a három megfigyelő, a röntgenfilm értékelésénél is használt módszerrel értékelte. A csontfantom felvételek esetében úgy a digitális, mint a filmscannerrel újradigitalizált képeket továbbítottuk a hálózaton, így az értékelőknek lehetőségünk volt mindhárom megjelenítési módon (1. röntgen film, 2. hálózaton továbbított digitális kép, 3. újradigitalizált, majd hálózaton továbbított kép) megvizsgálni a felvételeket. Az egyes modalitásokon készített fantomképekről az obszervereknek a kép struktúrájára vonatkozó kérdésekre kellett válaszolniok.

3.6. ^{99m}Tc-DTPA radioaeroszollal végzett inhalációs tüdőszcintigráfia sugárvédelmi vonatkozásai

A radioaktív aerosolt előállító készülék környezetében proporcionális számlálócsővel a háttér dózisteljesítmény változását, illetve levegőmintából a vizsgáló légterébe jutott radiofarmakon aktivitás koncentrációját, napi 1-6 beteg vizsgálatát követően ellenőriztük. A vizsgálatot végző dolgozók testébe jutott radiofarmakon lokalizálására kollimátor nélkül egésztest, illetve kollimátorral célzott statikus felvételeket készítettünk. A vizsgálatot végző dolgozó belső sugárterhelésének becslésére effektív egyenérték dózis számításokat végeztünk. Dörzsmintával ellenőriztük a védőkesztyűk, a vizsgáló helység padló és falfelületeinek radioaktív szennyezettségét.

3.7. ^{99m}Tc humán albumin kolloiddal végzett sentinel nyirokcsomó detektálásának sugárvédelmi adatai

Méréseket végeztünk melanoma malignum (MM) műtétre kerülő 25 betegben (18 nő, 7 férfi), melyekben radioizotóp alkalmazásával intraoperativ gammaszondával végeztünk SN meghatározást, majd azt követően a sentinel nyirokcsomókat műtéti úton eltávolították. A műtő háttér dózisteljesítmény változását proporcionális számlálócsővel, a dolgozók személyi dózisterhelését elektronikus dózismérőkkel, a műtétet végző operatőr és műtősnő ujjainak dózisterhelését termolumineszcens dózismérőkkel vizsgáltuk.

4. Eredmények

4.1. Gammakamera detektor minőségellenőrzése dinamikus vonalfantommal

A detektorok homogenitásának ellenőrzését kollimátor nélkül és kollimátorral egyaránt elvégeztük. Az analóg felvételeken a homogenitás minden esetben jól megítélhető volt. A fantom hibájára utaló szisztematikus eltéréseket (csíkos, illetve foltos képet) egy esetben sem találtunk. A kollimátorral felszerelt detektorok linearitásának vizsgálatára a PLES, BRH és az OHTP tesztminták egyaránt alkalmasnak bizonyultak. A felbontás megítéléséhez az MTF, valamint a forróvonal-felbontás fantomok bizonyultak a legalkalmasabbnak. A Dynamic Range, illetve a Hine Duley teszteket nem tartottuk megfelelőeknek. Az OHTP fantomprogram felhasználásakor, közepes energiájú divergáló kollimátorral Moiré-effektust észleltünk.

4.2. Gammakamera detektor homogenitásának vizsgálata dinamikus vonalfantommal

A dinamikus vonalfantom kapilláris csövével, az azonos típusú gammakamerák impulzushozam-aktivitás görbéin a linearitás határértékét 30000 cps impulzushozam körül észleltük, 20%-os holtidő kb. 50000 cps-nél következett be, a maximális impulzushozamot pedig 70000 cps körül mértük. Az egyes gammakamerákon jól meghatározott impulzushozam tartományokban kaptunk stabil homogenitás értékeket, melyek a ^{99m}Tc pontforrással, illetve ^{57}Co síkforrással kapott adatoktól szignifikánsan ($p<0,05$) nem különböztek.

4.3. Különböző sugárforrásokkal készített csontfantom-felvételek minőségének összehasonlítása

A különböző sugárforrásokkal készít csontfantom-felvételek adataiból számított ROC görbék területének átlaga (^{99m}Tc síkforrás vs. vonalfantom: 0,86 ± 0,04/0,86 ± 0,03; ^{99m}Tc síkforrás vs.^{57}Co síkforrás: 0,87 ± 0,04/0,88 ± 0,04; vonalfantom vs.

^{57}Co síkforrás: 0,88 ± 0,03/0,87 ± 0,04) nem különbözött szignifikánsan ($p<0,02$) egymástól.

4.4. Magyarországi izotópdiagnosztikai laboratóriumokban végzett átfogó minőségellenőrzési körkísérlet

Magyarországi izotópdiagnosztikai laboratóriumokban végzett átfogó minőségellenőrzési körkísérlet

A vizsgált laboratóriumokban a ROC görbék alatti terület nagyságával jellemzett eredmények igen nagy különbséget mutattak, a leggyengébbek (hazai leggyengébb: 0,60) alig haladták meg az egyes területek véletlenszerű véleményezésével kapható 0.5-ös görbe alatti terület értéket, a legsikeresebb vizsgálatok ugyanakkor (hazai legjobb: 0,94) a maximális, 1-es érték közelébe kerültek; (hazai átlag: 0,81). Külön összehasonlítottuk az analóg és számítógépes felvételek értékelésének eredményeit és a különbséget szignifikánsnak ($p<0.01$) találtuk a display javára (0.85±0.01 vs. 0.76±0.04).

A detektorok integrális és differenciális homogenitás értékei mindkét látómezőben viszonylag nagy szórást mutattak, az integrális értékek 3%-8%, a differenciális értékek pedig 2.4%-3.8% közötti intervallumokba estek.

4.5. Nukleáris medicinai és radiológiai képek hálózati továbbításának minőségellenőrzése

A röntgen film, illetve a hálózaton továbbított digitális képek score értékei (303) közül 234 (77%) azonos volt. A röntgen film javára 43 (14%), a display javára pedig 26 (9%) esetben döntöttek az értékelők. A röntgen film, illetve filmscannerrel digitalizált majd a hálózaton továbbított digitális képek 132 score értéke közül 63 (48%) volt azonos, 51 (39%) esetben a röntgenfilmről, 18 (13%) esetben pedig a displayről készült vélemény bizonyult pontosabbnak. A csontfantom-felvételek ROC görbéi alatti területek alapján a digitálisan továbbított felvétel displayről történő értékelésével kaptuk a legjobb eredményt (0,937 ± 0,03), ezt követi a primer képről történő értékelés (0,934 ± 0,20), majd a filmscannerrel

újradigitalizált felvétel (0,931 ± 0,02). A különbségeket nem találtuk szignifikánsnak.

4.6. ^{99m}Tc-DTPA radioaeroszollal végzett inhalációs tüdőszcintigráfia sugárvédelmi vonatkozásai

A tüdőinhalációs készülék környezetében a munkanapok kezdetén és végén mért háttér dózisértékek alapján a napi vizsgálatok számának növekedésével a háttérsugárzás mértéke nagyon széles tartományon belül ingadozott, de szignifikánsan (p=0.05) nőtt. Az inhalációs vizsgálatot végző dolgozó külső sugárforrásból származó dózisterhelése a vizsgálatok 74%-ában (121 vizsgálat) 200 nSv alatt, 26%-ban (44 vizsgálat) 200-850 nSv között volt. A vizsgáló légterébe kijutott radiofarmakon koncentrációja széles tartományban ingadozott (5-141 kBq/m3). A vizsgálat végrehajtásánál segédkező dolgozó belső sugárforrásból származó effektív dózisterhelése, a mért legalacsonyabb, illetve a legmagasabb aerosol koncentrációval számolva, 0,6 nSv és 0,3 µSv volt. Az egésztest felvételeken a szájüreg tájékán, illetve ritkábban, a gyomor régiójában találtunk radiofarmakonra utaló aktivitáshalmozódást. A betegvizsgálatokhoz használt kesztyűkön 88 – 171 Bq aktivitások közötti értékeket mértünk, a falfelületeken, illetve a padlón szennyeződést nem találtunk.

4.7. ^{99m}Tc humán albumin kolloiddal végzett sentinel nyirokcsomó detektálásának sugárvédelmi adatai

A műtő háttérsugárzás dózisteljesítményének átlaga a más helységekhez hasonló értékű, (átlag±SD) 92.5±2.2 nSv/h volt. A műtétek nagy többségében a dolgozók sugárterhelése nem érte el az 1 µSv-t (a háttérből származó egyenérték dózis tízszeresét), ami megegyezik az elektronikus személyi dózismérő hitelesített alsó határértékével. Az operatőrnél egy alkalommal (4%) mértünk 1-2 µSv, a műtőssegéd esetében pedig három alkalommal (12%) találtunk 1-4,5 µSv közötti értékeket. Az operatőr gyűrűdoziméterével mért elnyelt dózis értéke műtétenként átlag (±SD) 159±23 µGy, a műtősnőé pedig 48±17 µGy volt. A sentinel

nyirokcsomók detektálásakor mért impulzusszámok széles tartományban változtak, (n=36) átlag (±SD) 11756±7858 beütés/10 sec volt. Az eltávolított sentinel nyirokcsomó helyén mért beütésszám (n=36) a nyirokcsomó beütésszámának 0.03-10 %-a között (medián 2.6%) változott.

5. Következtetések

1. A dinamikus vonalfantom alkalmas a kollimátorral felszerelt detektorok homogenitásának, linearitásának és térbeli felbontóképességének, illetve a kollimátor nélküli detektorok homogenitásának vizsgálatára, a betegfelvételeknél használt radioaktív izotópok alkalmazásával.
2. A dinamikus vonalfantom megbízhatóan alkalmazható úgy a négyszögletes, mint a kör alakú detektoros gammakamerák homogenitásának mérésére. A korrekt eredmények eléréséhez azonban, a vizsgált gammakamerán optimális impulzushozam (aktivitás) tartomány meghatározása és alkalmazása szükséges.
3. A dinamikus vonalfantom alkalmas sugárforrás a detektorok transzmissziós csontfantommal történő minőségellenőrzéséhez.
4. A WHO/IAEA csontfantommal végzett magyarországi méréssorozatunk eredményei azt mutatták, hogy a résztvevő laboratóriumok teljesítményei nagymértékben különböztek egymástól, az ellenőrzés a munka eredményességének javítását szolgáló fontos információkat biztosított. Az eredmények igazolták, hogy a kamera detektorok optimális beállítása (homomogenitás) és a felvételek gondos értékelése (hardcopy és számítógép képernyő együttesen) a legfontosabb minőséget meghatározó tényezők.
5. A képtovábbító és képarchiváló rendszer (PACS) minőségellenőrzésére általunk alkalmazott egyszerű módszer fantom-felvételekkel jól használható az esetleges meghibásodások felderítésére.
6. Radio-aerosolos tüdőinhalációs vizsgálatot végző dolgozó belső sugárterhelésnek is ki van téve, a ^{99m}Tc-DTPA radiofarmakon főleg a

szájüregben és gyomorban halmozódhat. A dolgozók külső és belső sugárterhelése a radio-aerosolos vizsgálatok során azonban a törvény által megállapított effektív dóziskorlát alatt van.

7. A melanoma malignum műtéte során radioaktív izotóppal kivitelezett sentinel nyirokcsomó (SN) felderítést és eltávolítást sugárvédelmi szempontból biztonságosnak tartjuk. A legkedvezőtlenebb dózisegyenértékkel számolva is egy operatőr évente akár 3000 SN eltávolítást is elvégezhetne, miközben sugárterhelése a törvény által megállapított effektív, valamint végtag dóziskorlát alatt marad.

6. Az értekezés alapjául szolgáló közlemények és szakfolyóiratban megjelent előadáskivonatok jegyzéke

1. **Séra T.**, Mester J., Csernay L.: Dinamikus vonalfantommal szerzett tapasztalatok.
   Izotóptechnika, diagnosztika 1991; 34: 121-128.
2. **T. Séra**, J. Mester, L. Csernay: Optimal use of a dynamic line phantom for the determination of camera detector uniformity.
   Eur J Nucl Med 1992; 19: 585 (abs.).
   Impact factor: 1,856
3. **Séra T.**, Csernay L.: A készülékek korszerű minőségellenőrzése a nukleáris medicinában.
   Izotóptechnika, diagnosztika 1993; 36: 25-32.
4. **Séra T.**, Csernay L.: Gammakamerák minőségellenőrzésének módszerei.
   Izotóptechnika, diagnosztika 1993; 36: 3 (abs.).
5. **Séra T.**, Medgyes S., Sebestyén G.: Magyarországi izotópdiagnosztikai laboratóriumokban végzett átfogó minőségellenőrzési körkísérlet eredményei I.
   Magyar Radiológia 1994; 68: 164-167.

6. **T. Séra**, J. Mester, A. Skretting, L. Csernay: Comparison of the quality of transmission bone phantom images performed with different radiation sources.
Eur J Nucl Med 1995; 22: 907 (abs.).
Impact factor: 2,930
7. **Séra T.**, Medgyes S., Sebestyén G.: Magyarországi izotópdiagnosztikai laboratóriumokban végzett átfogó minőségellenőrzési körkísérlet eredményei II.
Magyar Radiológia, 1996; 70: 14-19.
8. **Séra T.**, Medgyes S., Sebestyén G.: Magyarországi izotópdiagnosztikai laboratóriumokban végzett átfogó minőségellenőrzési körkísérlet eredményei III.
Magyar Radiológia 1996; 70: 42-45.
9. **T. Séra**, J. Mester, A. Skretting, L. Csernay: Quality of transmission bone phantom images performed with different radiation sources.
Magy Radiol 1996; (Suppl. 1.): 50 (abs).
10. **Séra T.**, Mester J., Szkretting A., Csernay L.: Különböző sugárforrásokkal készített csontfantom-felvételek minőségének összehasonlítása.
Magyar Radiológia 1997; 71: 75-80.
11. **T. Séra**, J. Mester, A. Skretting, L. Csernay: Influence of the radiation source on the quality of transmission bone phantom images.
Radiology and Oncology 1997; 31/4: 358-363.
12. **T. Séra**, L. Csernay, L. Pávics: Quality control of nuclear medicine image transfer via a computer network.
Eur J Nucl Med 1997; 24: 943 (abs.).
Impact factor: 2,692
13. **Séra T.**, Csernay L., Pávics L.: Nukleáris medicinai képek számítógépes hálózati továbbításának minőségellenőrzése.
Magy Radiol 1997; (Suppl. 1): 15 (abs.).
14. **T. Séra**, L. Kardos, Cs. Hoffmann, M. Barkovics, L. Csernay: Quality control of medical image transfer via computer network.

Eur Radiol 1997; 7: 361. (abs.)
Impact factor: 0,561

15. **T. Séra**, J. Mester, L. Csernay, L. Pávics: Investigation of gamma camera detector uniformity using a dynamic line phantom.
Nuclear Medicine Review 1998; 09: 41-45.
16. **Séra T.**, Csenkey S. I., Horváth H., Pávics L.: Adatok a ventillációs tüdőszcintigráfia sugárvédelmi szempontjaihoz.
Magy Rad 1999; (Suppl.): E66 (abs.).
17. **T. Séra**, A. Kovács, M. Lázár, T. Milassin, S. Börcsök, L. Pávics: Radiation safety in relation to 99mTcDTPA radioaerosol lung ventilation.
Eur J Nucl Med 2000; 27: 1055 (abs.).
Impact factor: 3,772
18. **Séra T.**, Kovács Á., Lázár M., Papós M., Milassin T., Börcsök S., Csernay L., Pávics L.: 99mTc-DTPA aerosollal végzett inhalációs tüdőszcintigráfia sugárvédelmi vonatkozásai.
Magyar Radiológia 2001; 75: 214-220.
19. **Séra T.**, Kovács Á., Lázár M., Papós M., Milassin T., Börcsök S., Csernay L., Pávics L.: 99mDTPA-val végzett ventillációs tüdőszcintigráfia dozimetriai adatai.
Magy Radiol 2001; (Suppl.): B7/3 (abs.).
20. **T. Séra**, G. Mohos, M. Papós, M. Osvay, J. Varga, M. Lázár, K. Kapitány, L. Csernay, L. Pávics: Sentinel node detection in malignant melanoma patients: radiation safety consideration.
Eur J Nucl Med 2002; 29: 518 (abs.).
Impact factor: 3,568
21. **T. Séra**, M. Papós, M. Osvay, J. Varga, M. Lázár, E. Kiss, K. Kapitány, A. Dobozy, L. Csernay, L. Pavics: Sentinel node detection in malignant melanoma patients: radiation safety considerations.
Dermatologic Surgery 2003; 29: 141-145.
Impact factor: 1,505