

## Sugárterhelés a gyógyászatban

Deli Gábor

Kulcsszavak: *nukleáris medicina, CT, brachyterápia, sugárterápia, ALARA elv, radioaktív hulladék, sugárvédelem*

A röntgensugárzás felfedezése óta, a különféle, sugárzáson alapuló orvosi alkalmazások elterjedésével a lakosság mesterséges eredetű sugárterhelése megnőtt. Az ionizáló sugárzás orvosi célra történő felhasználásának előnyei megkérdőjelezhetetlenek. Mindazonáltal az emberek többsége nem szívesen veti alá magát ilyen kezeléseknél, hiszen minden ilyen eljárás egészségügyi kockázatot is hordoz magában, még ha csak kis mértékben is. Minden érintett védelme érdekében az ALARA elv betartása az első és legegyszerűbb lehetőség az orvosi beavatkozások során a lehető legkisebb sugárdózis elérésére. Az internethasználat elterjedésével, az anyanyelven hozzáférhető, megbízható forrásból származó ismereteknek meghatározó szerepe lehet abban, hogy az ionizáló sugárzás gyógyászati alkalmazásával kapcsolatos túlzott félelmeket eloszlassuk, a sugárforrások helytelen kezeléséből adódó problémákat komolyan vegyük. Jelen összefoglaló ismerteti az ionizáló sugárzással járó diagnosztikai eljárások – röntgen, komputertomográfia, izotópdiagnosztika ezen belül a pozitronemissziós tomográfia is – valamint a terápiás alkalmazások – sugárterápia, izotópterápia, brachiterápia-elvét, az ezekből származó sugárterhelés mértékét és a kockázat csökkentés lehetőségeit, emellett érinti a fontosabb sugárzó hulladék kezelésére, tárolásra és a kezelőszemélyzet védelmére szolgáló előírásokat is.

A lakosság mesterséges eredetű sugárterhelése a röntgensugárzás felfedezésével (1895), majd az orvosi röntgendiagnosztikai vizsgálatokkal és természetes radioizotópokkal (pl.  $^{226}\text{Ra}$ ) végzett su-

gárterápiával kezdődött [1]. A természetes eredetű sugárterhelés után az ionizáló sugárzás orvosi alkalmazása adja a népesség sugárterhelésének legjelentősebb hányadát [2]; a mesterséges forrásokból

eredő egy főre eső éves sugárterhelés világszerte megközelítőleg 0,7 mSv, amely szinte kizárólag az orvosi alkalmazásokból származik [3]. Természetes, hogy az ilyen irányú felhasználásból minden esetben közvetlen haszon várható a betegségek megállapításában és gyógyításában és itt a legnyilvánvalóbb mindenki számára a kockázatvállalás szükségessége.

Mindezen orvosi haszon mellett az ionizáló sugárzás orvosi alkalmazása több ponton is kockázatot jelenthet nem csak a betegnek, hanem a környezetének, valamint az egészségügyi szakszemélyzetnek is.

### **Diagnosztikai alkalmazásokból eredő sugárterhelés**

A diagnosztikai vizsgálatokból származó sugárdózisok és a velük összefüggő kockázat megértésének praktikus módszere, ha összehasonlítjuk a természetes háttersugárzással. (3 mSv/év) [4], illetve a mindennapi élet általános tevékenységeiből eredő kockázattal. Például: 0,1-1 mSv sugárdózis, ami már megnövekedett kockázatot jelent, egyenértékű 7200 kilométer repülőúttal, amíg az 1-10 mSv dózistartomány – ami még nagyobb kockázatot jelent – egyenértékű 3200 kilométer gépjárművel megtett út kockázatával [5].

Az Európai Unióban a Tanács 2013/59/EURATOM Irányelve [6] szabályozza az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírásokat. Ezzel összhangban van a magyar szabályozás, az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről szóló 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet. Ezek szerint a sugárveszélyes munkahelyeken dolgo-

zókra és a lakosságra az alábbi korlátok vonatkoznak:

A foglalkozási sugárterhelésre vonatkozó effektív dóziskorlát évi 20 mSv. Különleges körülmények között vagy a nemzeti jogszabályokban meghatározott bizonyos sugárzási helyzetekben azonban az illetékes hatóság egy-egy évben ennél nagyobb, de legfeljebb 50 mSv nagyságú effektív dózist is jóváhagyhat, amennyiben bármely egymást követő öt évben – azokat az éveket is ideértve, amikor a korlátot meghaladták – az éves átlagos dózis nem haladja meg a 20 mSv értéket.

A lakossági sugárterhelésre vonatkozó dóziskorlát a lakosság tagjait az összes jóváhagyott tevékenységből ért éves sugárterhelések összegére érvényes, ez az effektív dóziskorlát 1 mSv/év.

A korlátok nem vonatkoznak az egyén érdekében végrehajtott orvosi eljárásokból származó, vagy baleseti sugárterhelésre [6] (I. táblázat).

A sugárdózist esetenként belépő bőr dózisban adjuk meg. A belépő bőr dózist a hagyományos radiográfiában használják: a sugárnyaláb egy pontjának dózisbecslése lehetővé teszi a szervi dózisok és az effektív dózis becslését. A kis sugárdózisok egészségügyi kockázatának becslésére a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (International Commission on Radiation Protection, ICRP) az effektív dózist használja [5]. Az effektív dózis nem mért, hanem számított dózis, amit a szövetben vagy szervben elnyelt dózis szöveti súlyozó tényezővel való szorzásával kapunk. Mivel a szöveti súlyozó tényezők változhatnak az új információkkal és a meglévő adatok folyamatos vizsgálatával, az effektív dózis becslése is változhat az idővel. Érdemes megjegyezni, hogy a dózisbecslések általában átlagos méretű felnőttre vannak megadva és jelentősen eltérhetnek a pá-

**I. táblázat.** Az orvosi képalkotó eljárások sugárdózisának és a háttérsugárzás összehasonlítása [4]

| Vizsgálat                       | Effektív sugárdózis (mSv) | Az ugyanekkora mennyiségű háttérsugárzás akkumulálódásához szükséges idő |
|---------------------------------|---------------------------|--|
| <b>CT – komputertomográfia</b>  |                           |  |
| Szinuszok                       | 0,6                       | 2 hónap  |
| Fej                             | 2                         | 8 hónap  |
| Mellkas                         | 7                         | 2 év   |
| Mellkas (tüdőembólia)           | 10                        | 3 év   |
| Has és medence                  | 10                        | 3 év   |
| Multifázisos has és medence     | 31                        | 10 év  |
| Fogászati CT                    | 0.2                       | 20 nap   |
| <b>Radiográfia</b>              |                           |  |
| Végtagok                        | 0,001                     | <1 nap   |
| Mellkas                         | 0,1                       | 10 nap   |
| Ágyéki gerinc                   | 0,7                       | 3 hónap  |
| Has                             | 1,2                       | 5 hónap  |
| Fogászati röntgen               | 0.005                     | <1 nap   |
| Fogászati panoráma röntgen      | 0.01                      | 1 nap  |
| <b>Egyéb</b>                    |                           |  |
| Mammográfia                     | 0,7                       | 3 hónap  |
| Csont denzitometria (DEXA)      | 0,001                     | <1 nap   |
| <b>Nukleáris medicina</b>       |                           |  |
| Tüdő ventilláció/perfúzió       | 2                         | 8 hónap  |
| Csont scan                      | 4,2                       | 1 év 4 hónap   |
| Szív perfúzió (99mTc sestamibi) | 12,5                      | 4 év   |
| <b>Fluoroszkópia</b>            |                           |  |
| Nyelérröntgen                   | 1,5                       | 6 hónap  |
| Koronária angiográfia           | 5-15                      | 20 hónap – 5 év  |

ciens méretétől és a képalkotó technikától függően. Az effektív dózis a sugárzás által okozott kockázat becslésére, nem pedig egy adott vizsgálat konkrét sugárdózisának meghatározására alkalmazott

dozimetriai fogalom. Az effektív dózis becslése jelentős bizonytalanságot hordoz magában [5].

A sugárzás okozta kockázat vitatott 10 és 100 mSv között, abban a dózistar-

tományban, amely az orvosi képalkotás, különösen a CT szempontjából releváns. Egyetlen hasi CT vizsgálat megközelítőleg 10 mSv dózisterhelést jelent és azok a betegek is ebbe a dózistartományba esnek, akik több CT vizsgálaton vagy egy multifázisos CT vizsgálaton esnek át. A kardiológiai képalkotó eljárások is tipikusan ebbe a dózistartományba esnek [4]. 10 mSv alatt – ami a radiográfia, néhány nukleáris medicina és CT vizsgálat dózistartománya – nincsenek olyan epidemiológiai adatok, amelyek a rákos megbetegedések megnövekedett kockázatára utalnának. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a kockázat nincs jelen, csupán a nagy volumenű epidemiológiai vizsgálatok sem voltak képesek statisztikailag kimutatni az ilyen alacsony dózisok megnövekedett kockázatát [5].

### Röntgen

A röntgensugárzás diagnosztikai célokra történő alkalmazásának kezdete az 1900-as évek elejére tehető. Felfedezését követően rövid időn belül, az orvosi diagnosztika fontos elemévé vált. Az első ilyen irányú vizsgálat kevesebb, mint egy hónappal *Röntgen* cikkének megjelenése után történt [7]. A vizsgálati irányok, az alkalmazott eljárások, valamint az alkalmazó személyek és páciensek száma is rohamosan nőtt az évek során, csak 2010-ig mintegy 5 milliárd röntgenvizsgálatot végeztek el világszerte [8].

A felvétel során kapott sugárterhelést a vizsgálat típusa és a készülék határozza meg. A vizsgálat típusától függően (fejlett országokban) a jellemző effektív dózistartomány a 0,07-9 mSv vizsgálatonként. A vizsgálatok gyakoriságát tekintve igen nagy különbségek tapasztalhatóak, 1000 főre számítva egyes országokban 15-20, fejlett orszá-

gokban akár 1600 is lehet az éves vizsgálatok száma. Az egy főre eső átlagos éves sugárterhelés 0,03-1,9 mSv közé tehető, de jelentős eltérések mutatkoznak a különböző fejlettségi szintű országok között, így az eloszlás igen egyenetlen, a súlyozott világátlag 0,62 mSv. Az orvosi eredetű sugárterhelés mintegy felét a röntgendiagnosztikai eljárások teszik ki [3].

A radiográfia dózisa abba a tartományba esnek, ahol nincs epidemiológiai bizonyíték megnövekedett rák kockázatra (nagyon kis kockázatnövekedés jelen lehet, amennyiben a sztochasztikus (valószínűségi) sugárhatásokra elfogadott lineáris küszöbdózis nélküli modell helyes). A gerinc és has radiográfiás vizsgálata jelentősen nagyobb sugárdózissal jár, mint a mellkas, vagy a végtagok radiográfiás vizsgálata [4].

### CT – komputertomográfia

A röntgenvizsgálati rétegfelvétel-sorozatból háromdimenziós leképezést nyújtó komputertomográfia és néhány nukleáris medicina vizsgálat szinte nagyobb dózissal jár, mint a radiográfia. Ezen eljárás sugárdózisa abba a tartományba esik, ahol közvetlen epidemiológiai bizonyítékok utalnak a daganatos megbetegedések megnövekedett kockázatára. Azt is érdemes megjegyezni, hogy az adatok arra mutatnak, hogy a CT-ből származó sugárdózisok nagyban változhatnak az egyes intézetek között [9].

Noha a CT vizsgálatok jelentősen nagyobb dózissal járnak, mint az egyszerű röntgenfelvételek, az általuk nyújtott információ sokkal részletesebb, különösen, ha más vizsgálati eljárásokkal is ötvözik (PET, izotópdiagnosztika – lásd később).

### Izotópdiagnosztika

Az izotópdiagnosztikai vizsgálatok során a betegnek radioaktív izotóppal jelzett vizsgálati anyagot adnak be és ennek sugárzását mérik a test felszínén. A nyomkövetés történhet időben, amikor a vizsgálati anyag felhalmozódásának és kiürülésének sebességéből következtetnek a vizsgált szerv működésére (dinamikus vizsgálat). Térbeli nyomkövetésnél a vizsgált szerv helyzetéről, alakjáról, nagyságáról kapnak képet és a radioaktív anyag eloszlásából következtetnek a szerv funkciójára, annak szerveken belüli eloszlására (statikus vizsgálat). A térbeli nyomkövetésnél a vizsgált szervet képszerűen lehet megjeleníteni. Ha a vizsgálat gamma-sugárzó radioizotóppal jelzett vizsgálati anyaggal történik, a módszert szcintigráfiának nevezik. Sok esetben nem teljesen kielégítő, ha a radioaktív anyag eloszlásának csak a vetületi képet lehet rekonstruálni. Ha a vetítési irány mentén is szükség van a különböző szöveti mélységben elhelyezkedő részeket megkülönböztetésére, akkor rétegvizsgálatra van szükség. A detektor egy köríven körbejárja a beteget és eközben a berendezés több mint száz vetületi képet készít el. A sok, különböző vetítési irány mellett elkészített vetületi képből rekonstruálható a teljes, háromdimenziós eloszlás is (SPECT vizsgálat), amin a vizsgált funkció szerveken belüli, háromdimenziós eloszlása tehető láthatóvá.

A SPECT készülék röntgensugaras rétegvizsgálatra alkalmas CT készülékkel építhető egybe (SPECT/CT). A készülék a két különböző diagnosztikai vizsgáló módszer egyidejű alkalmazásával a funkcionális és morfológiai információ szimultán megjelenítésére képes. A módszer segít a kóros elváltozások precíz, pontos lokalizálásában, a korai

diagnózis felállításában és a hatékony terápia minél korábban történő elkezdésében [10] (II. táblázat).

Az izotópdiagnosztikai vizsgálatoknál már nem csak a páciens érti sugárterhelés, hanem valamilyen mértékben szűkebb-tágabb környezetét is. Figyelembe kell azonban venni, hogy a diagnosztikai célra alkalmazott radioizotópok általában igen rövid felezési idővel rendelkeznek, valamint az eljárás során felhasznált aktivitások is jelentősen kisebbek, mint a terápiás alkalmazások esetében. Ezen tevékenységek során az egy főre eső dózisok világátlagos 0,03 mSv, a fejlett országokra jellemző érték ennek háromszorosa [3].

Az egyes radiofarmakonok más-más útvonalakon dúsulhatnak és ürülhetnek ki a szervezetből. Ennek megfelelően számos technika áll rendelkezésre az izotópos vizsgálattal járó sugárdózis csökkentésére. Az izotópdiagnosztikai vizsgálatok során a beteg szervezetébe juttatott radiofarmakon kiürülését specifikus és aspecifikus eljárásokkal lehet elősegíteni. Az aspecifikus eljárások lehetnek például: jelentős mennyiségű folyadék megittatása vizsgálat előtt és után, zsíros étel-ital alkalmazása, enyhe laxatívumok adagolása és diuretikumok alkalmazása. A specifikus kezelések azok az eljárások, amelyeket a radionuklidok sejtekbe, szövetekbe való bejutása után kell alkalmazni. Például: radioaktív jóddal inkorporáció estén stabil (nem sugárzó) jóddal akadályozható meg a pajzsmirigy jóddizotóp felvétele [12].

### PET

Az elmúlt évtizedben a CT és az MR vizsgálatok mellett a pozitron sugárzó izotópokkal végzett PET- és PET/CT-vizsgálatok egyre nagyobb szerepet ját-

**II. táblázat.** *Rutin izotópdiagnosztikai vizsgálatok gamma-sugárzó radiofarmakonokkal, [11] alapján módosítva (E: effektív dózis)*

| Nuklid            | Radiofarmakon                       | Vizsgálat                                | Fizikai felezési idő (óra) | Aktivitás (MBq)  | E (mSv) |
|-------------------|-------------------------------------|--|----------------------------|------------------|---------|
| <sup>99</sup> Tc  | Pertechnetát                        | agyszcintigráf                           | 6                          | 500              | 6       |
| <sup>99</sup> Tc  | HSA                                 | vérpool-szcintigráfia                    | 6                          | 800              | 7       |
| <sup>99</sup> Tc  | DTPA                                | veseszcintigráfia                        | 6                          | 300              | 2       |
| <sup>99</sup> Tc  | DMSA (III)                          | veseszcintigráfia                        | 6                          | 80               | 0,7     |
| <sup>99</sup> Tc  | Kolloid                             | nyirokcsomó-szcintigráfia                | 6                          | 40               | 0,4     |
| <sup>99</sup> Tc  | Kolloid                             | könny                                    | 6                          | 4 csepp (10 MBq) | 0,4     |
| <sup>99</sup> Tc  | MIBI                                | szívizom-szcintigráfia                   | 6                          | 300              | 4       |
| <sup>99</sup> Tc  | HM-PAO                              | agyi véráramlás                          | 6                          | 500              | 5       |
| <sup>99</sup> Tc  | Techgáz                             | tüdőventilláció                          | 6                          | 400              | 0,07    |
| <sup>111</sup> In | Anti-miozin monoklonális ellenanyag | szívscintigráfia                         | 67                         | 80               | 19      |
| <sup>111</sup> In | Anti-CEA monoklonális ellenanyag    | gasztrointesztinális tumor szcintigráfia | 67                         | 150              | 37      |
| <sup>123</sup> I  | Jodide                              | pajzsmirigy-szcintigráfia                | 13                         | 20               | 4       |
| <sup>123</sup> I  | o-lodo-hippurate                    | veseszcintigráfia renográfia             | 13                         | 20               | 0,2     |
| <sup>123</sup> I  | HSA                                 | plazmatérfogató                          | 13                         | 0,2              | 0,06    |
| <sup>201</sup> Tl | Tl-klorid                           | szívscintigráfia                         | 73                         | 80               | 18      |
| <sup>201</sup> Tl | Tl-klorid                           | tumorszcintigráfia                       | 73                         | 150              | 37      |

szanak elsősorban a daganatos betegségek diagnosztikájában. A PET/CT nem csak az elsődleges diagnózis felállításában és a differenciáldiagnosztikában segít, hanem a betegség követésében, a daganat kiterjedésének pontos megítélésében, esetleges metasztázisok igazolásában is fontos és hatékony eszközt jelent. A PET/CT-nek mindezek mel-

lett kiemelten fontos eszköz a sugárterápia tervezési folyamatában, főként a céltérfogatok definiálásában, a pontos nyirokcsomóstátusz meghatározásában, valamint a távoli metasztázisok kimutatásában is [13].

A szakértők egyetértenek abban, hogy a radionuklid alapú pozitron emissziós tomográfia (PET) és a „single photon”

emissziós komputer tomográfia (SPECT) a legérzékenyebb molekuláris képalkotó eljárások. A PET és a SPECT rendelkeznek azzal az érzékenységgel, ami ahhoz kell, hogy vizualizálják az interakciót a legtöbb fiziológiai target és a hozzá specifikusan kötődő ligandok között, mint például a neurotranszmitterek és az agyi receptorok esetében. A radionuklid alapú képalkotó eljárások képesek konkrét biomolekulák koncentrációját meghatározni akár picomol-os nagyságrendben is.

A PET képalkotó ágenseket pozitron emittáló radionukliddal jelölik, amely pozitron kibocsátása mellett bomlik. Az emittált pozitron rövid távolságot tesz meg a környező anyagban, vagy szövetben mielőtt egy elektronnal kölcsönhatásba lépve megsemmisül. Ez a megtett távolság a pozitron távolság. Az emittált pozitron energiája meghatározza a megtett utat és minden pozitron emittáló radionuklid esetében eltérő. Minél nagyobb a pozitron energiája, annál nagyobb távolságot tesz meg a megsemmisülés előtt és annál nagyobb a térbeli felbontásban beálló veszteség. A megsemmisülés két 511 keV  $\gamma$ -sugarat hoz

létre, amely megfelel a pozitron és az elektron együttes tömegének. A két  $\gamma$ -sugár az ellentétes irányokba egyidejűleg sugárzódik ki, majd detektálásra kerül az elhelyezett detektorok által. Habár az egyes megsemmisülések pontos helye nem ismert, a nagyszámú véletlenszerű esemény detektálása a vonalak mentén lehetőséget ad képet alkotni a radioaktivitás eloszlásáról [14]. A PET különleges előnye, hogy a mért szöveti radioaktivitás abszolút mértékegységben mérhető (Bq/ml), azonban előzetes korrekciók szükségesek a fizikai hatások, mint például a szóródó sugárzás esetében. A modern PET kamerák két és háromdimenziós módban is gyűjtenek adatokat.

A nukleáris medicina képalkotó eljárásai közül a PET sajátos előnye, hogy a szén, nitrogén és oxigén (ezek az elemek a biomolekulák fő alkotóelemei) pozitron emittáló izotópjainak alkalmazásával lehetőség van olyan radiofarmakonok szintézisére, amelyek kémiaiag megkülönböztethetetlenek a nem radioaktív megfelelőiktől. Ezek a radiofarmakonok azonos fizikokémiai és biokémiai tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a nem jelölt molekulák (III. táblázat).

**III. táblázat.** Pozitron sugárzó izotópokkal végzett diagnosztikai vizsgálatok (PET), [11] alapján módosítva

| Nuklid           | Radiofarmakon         | Vizsgálat                         | Fizikai felezési idő (perc) | Aktivitás (MBq) | Effektív dózis (mSv) |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| $^{11}\text{C}$  | l-metionin            | agytumor                          | 20,3                        | 400             | 2                    |
| $^{13}\text{N}$  | ammónia               | szív véráramlás                   | 10                          | 550             | 2                    |
| $^{15}\text{O}$  | víz                   | agyi véráramlás                   | 2                           | 2000            | 2                    |
| $^{18}\text{F}$  | FDG                   | tumor szcintigráfia               | 110                         | 400             | 10                   |
| $^{18}\text{F}$  | fluorid               | csont szcintigráfia               | 110                         | 250             | 7                    |
| $^{68}\text{Ga}$ | somatostatin analógok | neuro-endokrin tumorszcintigráfia | 68,1                        | 100–150         | 1                    |

A PET során használt molekulák közül a  $^{18}\text{F}$ -al jelölt radiofarmakonok bírnak a legelőnyösebb fizikai tulajdonságokkal, mert a  $^{18}\text{F}$ -nak van a legjobb képalkotási karakterisztikája az alacsony pozitron energia miatt. 110 perces fizikai felezési ideje komplexebb radioszintézist, hosszabb *in vivo* vizsgálatot és a PET centrumok felé történő könnyebb elosztást tesz lehetővé [15].

A leggyakrabban a  $^{18}\text{F}$ -FDG alkalmazásával végzett különböző vizsgáló eljárások során a PET berendezéssel egybeépített CT adja a pontos szerkezeti és megbízható lokalizációs ábrázolást, ami a PET által nyújtott funkcionális leképezéssel ötvöződik, így növelve a kombinált vizsgálatok diagnosztikai hatékonyságát. A megfelelő felbontóképességű CT-vel kombinált PET-vizsgálatok során jódos CT-kontrasztanyag alkalmazásával további diagnosztikai információ is nyerhető [11].

### **A diagnosztikai vizsgálatok sugárterhelésének csökkentési lehetőségei**

A radiológiai diagnosztika során számos olyan sugárfizikai és technikai tényező van, amely befolyásolja a páciensdózist. Ilyen tényező például a sugárnyaláb minősége, a fókusz bőr távolság, a mező nagysága és a szervek takarása is. A különböző erősítőfóliák, az előhívási technika helyes megválasztásával, de a digitális technológiák használatával is csökkenthető a páciensdózis. Időben elhúzódó eljárások esetén a sugárzásnak kitett bőrfelület dózisének csökkentése elérhető például a nyaláb irányának változtatásával [11], [16].

A diagnosztikai eljárások megválasztásánál a sugárvédelem legelső szempontja az indokoltság, vagyis hogy az el-

járásból származó, jelen vonatkozásban diagnosztikus haszon meghaladja az eljárás alkalmazásából eredő kockázatot. Az ionizáló sugárzást alkalmazó diagnosztikus eljárásoknak akkor van létjogosultsága, ha a megszerezni kívánt információ más, kisebb kockázattal bíró módszerrel nem biztosítható. A képalkotó eljárásokból származó sugárdózis 3 módon csökkenthető. Az első, hogy egyáltalán nem végzik el a vizsgálatot. Ehhez szükséges teljesen megérteni a vizsgálat célját, át kell tekinteni a korábbi vizsgálatokat, amelyek esetlegesen már megválaszolhatták a klinikai kérdést és fel kell mérni a páciens egyéni tényezőit, ami növelheti, vagy csökkentheti a kockázatot. A második egy olyan alternatív eljárás, amely nem használ ionizáló sugárzást. A harmadik pedig, hogy kevesebb sugárzást használnak a képek elkészítéséhez. Rendkívül fontos, hogy minden képalkotó vizsgálatot – különösen, amelyek potenciálisan károsíthatják a beteget – csak akkor kell elvégezni, ha feltétlenül szükséges.

A vizsgálat indokoltságának megítélése az azt elrendelő, és nem az azt végrehajtó orvos felelőssége. Ennek feltétele viszont az, hogy a vizsgálatot elrendelő orvos is tisztában legyen az azzal összefüggő egészségkárosodási kockázat mértékével. Sajnos a gyakorlatban sok esetben csorbát szenved, pedig ha valahol, akkor itt nincs helye az automatizmusok, a rutin és szokásjog érvényesülésének.

A kívánt diagnosztikai eredményt az ésszerűen elérhető legalacsonyabb sugárterheléssel kell megszerezni. ALARA-elv (As Low As Reasonably Achievable): betartása, érvényesítése az intézmény vezetésétől a vizsgálatot vagy beavatkozást végrehajtó személyig terjed.

„A sugárvédelem alapelve, amely szerint bármely ionizáló sugárzást alkalma-



zó tevékenység esetében a védelmet és biztonságot optimalizálni kell annak érdekében, hogy az egyéni dózisok nagysága, a sugárzásnak kitett személyek száma és a sugárterhelés valószínűsége az észszerűen megvalósítható legalacsonyabb szinten maradjon – tekintettel a gazdasági és társadalmi tényezőkre – az egyéni dóziskorlátokon belül, figyelembe véve a forrásra vonatkozó dózismegszorításokat” (155/2014. Kormányrendelet megfogalmazása).

Habár az egyes orvosi képalkotó vizsgálatok abszolút sugárzási kockázata kicsi, ezek a kockázatok klinikailag relevánsak lehetnek a nagyon alacsony vagy nem meghatározott előnyökkel összehasonlítva. Például a tünetmentes egyének teljes test CT szűrésének előnyei nem egyértelműek. Ezeknek a vizsgálatoknak (és a kezdeti szűrésből származó lehetséges nyomon követési vizsgálatoknak) a sugárterhelés kockázata klinikailag releváns lehet, ha összehasonlítjuk a bizonytalan előnyökkel, különösen, ha figyelembe vesszük a fals-pozitív eredmények és a „túldiagnosztizálás” kockázatait. A beteg képalkotási háttérének áttekintése elengedhetetlen, mert időnként elháríthatja a további képalkotás szükségességét, vagy lehetővé teheti a koncentráltabb, alacsonyabb dózisu vizsgálatot. A képalkotási háttér áttekintése során fel kell tárni a magas kumulatív sugárterhelést is, ami megváltoztathatja a jövőbeli döntéseket a képalkotó eljárások vonatkozásában.

Még több megfontolást érdemel a mérsékelt magas dózisu sugárterhelés alkalmazása terhes vagy fiatalabb betegeknél, a mellkasi CT esetén nőknél, a magas testtömegindexű (BMI) vagy a többfázisú CT-n áteső betegeknél. Bár az anyai has és a medence képalakító vizsgálatából származó abszolút

magzati kockázat kicsi, ezeket a vizsgálatokat el kell kerülni, hacsak nincs más lehetőség. Az anyai fej, a nyak, a mellkas és a perifériás végtagok képalakító vizsgálata azonban elhanyagolható kockázattal jár a magzatra nézve. A mellkast érintő vizsgálatokban résztvevő nők esetében a tervezett kockázat nagyobb, mint a férfiaknál, ami az emlőkarcinoma további kockázata és a magas tüdőrák kockázati együtthatók miatt van [17]. A magas BMI indexű betegek gyakran nagyobb sugárdózist kapnak. Ahogy a vizsgált terület vastagsága nő, nagyobb röntgensugárzásra van szükség ahhoz, hogy elfogadható képeket hozzon létre, ami növeli a sugárdózist. A magas BMI indexű betegeknél a radiológiai és fluoreszkógi vizsgálatok effektív sugárdózisa sokkal magasabb lehet [18], [19]. A CT-n áteső betegeknél a magas BMI gyakran korlátozza a sugárzáscsökkentő technikák alkalmazását. Ha egy magas BMI indexű beteget vizsgálunk ugyanazzal a módszerrel, mint egy alacsonyabb BMI-vel rendelkező beteget, a sugárzás mennyisége nem lesz optimális, és a keletkező képek általában szemcsés vagy „zajosak” lesznek. A röntgenvizsgálatokkal ellentétben a BMI lényegesen nem befolyásolja a nukleáris medicina vizsgálatok sugárdózisát [20].

A többfázisú CT során ugyanazt a szervet többször képezik le a kontrasztjavítás különböző fázisaiban. Például egy többfázisú máj CT-ben a májat akár négyszer is leképezhetik. Egy standard CT-vel összehasonlítva egy multifázisú máj CT javíthatja a máj elváltozások kimutatását és jellemzését. *Smith-Bindman* és munkatársai [9] tanulmányában azonban a többfázisú CT vizsgálatok sugárdózisa közel 4-szer nagyobb volt, mint az egyfázisú CT vizsgálatok

esetében. A mágneses rezonancia képalkotás gyakran lehet helyettesítő eljárás a többfázisú vizsgálatokban, hasonló, de nem nagyobb diagnosztikai pontossággal [21], [22].

## **Terápiás alkalmazásokból eredő sugárterhelés**

### ***Külső sugárforrással végzett sugárterápia***

Sugárterápiát általában a rosszindulatú daganatok kezelésére használnak. Tekintve a sugárzás szervezetet károsító hatását, egyéb, nem rosszindulatú betegségek esetén ritka a sugárterápia alkalmazása (például súlyos reumás panaszok és hipertrófiás heg esetében). Terápiás célra korábban röntgensugárzást és a  $^{226}\text{Ra}$  izotópot használták, mára használatuk azonban jelentősen visszaszorult. Napjainkban nagyenergiájú gammasugárzást ( $^{60}\text{Co}$  radioizotóp) vagy részecskesugárzást, lineáris gyorsítókat alkalmaznak, mivel ezek lehetővé teszik a leadott dózisnak a célszervre történő nagyobb mértékű koncentrációját.

Tekintettel arra, hogy külső terápiás besugárzásban a világnépességnek csak igen kis hányada részesül, (megközelítőleg 5 millió ember évente) a nagy páciensdózisok ellenére az egy főre eső átlagos effektív sugárterhelés igen kis mértékű [11].

### ***Brachyterápia***

A brachyterápia radioaktív sugárforrások tumorba, vagy annak közelébe történő beültetéséből áll. Az eljárást újonnan kialakult tumoros elváltozások kezelésére és a daganatok kiújulásának

megelőzésére alkalmazzák. A prosztatarák brachyterápiás „seed”-jei titánium burkolattal ellátott,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{103}\text{Pd}$ , vagy  $^{131}\text{Cs}$  sugárforrást tartalmazó apró fémimplantátumok. Az eljárást általánosan alkalmazzák a méhnyak-, prosztata-, emlő- és bőrrák kezelésére, azonban alkalmas sok egyéb daganattípus (például agy, szem, emésztő traktus) kezelésére is [23]. Az eljárás legfőbb előnye, hogy az ép szöveteket megkíméli a sugárzástól, ugyanis a sugárforrás környezetében a dózis grádiens meredek, hiszen a sugárzás intenzitása a távolság négyzetével arányosan csökken. A tumor közelében magas, attól távolabb, a normális szövetekben pedig alacsonyabb dózisértékek találhatók. Az eljárás további előnye, hogy a biopszia és az utána végzett szövettani vizsgálattal egy ülésben elvégezhető és olcsó. Az intersticiális besugárzással ugyanakkor nem lehet homogén dózisviszonyokat kialakítani.

A brachyterápiának több lehetséges eljárása ismert a dózisteljesítmények alapján. A HDR-(high dose rate) kezelésnél a dózis teljesítmény 1-2 Gy/perc, a besugárzás pedig egy óránál rövidebb ideig tart. A LDR- (low dose rate) sugárzás 0.3-0.6 Gy/perc dózis teljesítménnyel, napokig, néha hetekig tartó, a VLDR-BT (very low dose rate brachyterápia) 0,05-0,1 Gy/min dózissal 1,5-2,5 hónapig tartó sugárkezelést jelent [24].

Az átmeneti brachyterápia esetében nem maradnak sugárforrások a testben a kezelés után, így a hozzátartozók nincsenek kitéve kockázatnak. Ha permanens brachyterápiát alkalmaznak, alacsony dózisú sugárforrások maradnak a testben a kezelés után. Ez a sugárzás nagyon alacsony dózisú és ez idővel csökken is. A sugárzás csak a sugárforrás néhány milliméteres közelében lévő szöveteket éri. Elővigyázatosságból azonban azt

szokták tanácsolni a betegeknek, hogy rövid ideig ne tartózkodjanak kisgyermek és terhes anyák közvetlen közelében [25].

A brachyterápiás sugárforrások kis mérete és a kezdeti évtizedekben történt nem megfelelő szabályozás miatt fennáll a veszélye, hogy néhány ilyen sugárforrás a környezetbe kerülhetett. 2011-ben rádium tűt találtak egy prágai játszótéren amelyetől egy méterre a sugárzás 500  $\mu\text{Sv/h}$  volt [26].

### ***Radioizotóppal történő terápiás beavatkozások***

Nyitott radioaktív készítmények diagnosztikai és terápiás felhasználásával a nukleáris medicina foglalkozik. Az izotópterápia leggyakoribb alkalmazási területe az ambuláns vagy kórházi bennfekvéssel végzett  $^{131}\text{I}$  pajzsmirigy-terápia. Az izotópterápia további két alapvető alkalmazási területe a csontmetasztázisok palliatív (fájdalomcsillapító) terápiája és a krónikus ízületi gyulladásos elváltozások kezelése. A terápiás hatás minden esetben a készítmények célszervben vagy target szövetekben elnyelődő béta-sugárzásának köszönhető. Az utóbbi években az alfa-sugárzó izotópok is megjelentek a radioizotópos terápiában.

A gamma-sugárzó  $^{131}\text{I}$  felezési ideje 8,1 nap, valamint a felhasznált aktivitás is nagy (GBq nagyságrendű), így figyelemmel kell lenni a beteg környezetének külső sugárterhelésére, illetve az esetleges szennyeződésre is.

A radioizotópokkal elvégzett éves terápiás kezelések száma jelenleg töredéke a külső terápiás sugárkezelésben részesülőkének [11].

A radionuklid terápiás beavatkozások során is van lehetőség az egészséges

szervek sugárterhelésének csökkentésére. A terápiás radiofarmakon klinikai alkalmazásával egyidőben (például a somatostatin receptorokban dús dagantok speciális radiofarmakkal végzett izotópterápiája esetében) lizin és arginin tartalmú aminosav keverék infúzió alkalmazásával a vese sugárterhelése 40%-kal csökkenthető [27].

### **A radioaktív hulladék kezelése, tárolása**

Számos radioaktív anyagot használnak különböző diagnosztikai, terápiás és kutatási célra. Ezeknek az anyagoknak a felhasználása közben nagy mennyiségű radioaktív hulladék keletkezik. Ennek a hulladéknak a mennyisége és típusa az adott orvosi alkalmazástól és a felhasznált izotóptól függ. Ezeket a hulladékokat orvosbiológiai hulladékoknak tekintik és sok esetben tartalmazznak fertőző biológiai komponenseket klinikai, anatómiai, vagy egyéb forrásból.

Az így keletkező hulladékok kezelése átfogó management rendszert igényel. Sok esetben a kémiai, biológiai, vagy fizikai anyagokból származó potenciális veszély nagyobb, mint a radionuklidból származó sugárzás kockázata.

Az orvosi alkalmazásból származó hulladékot a Nemzetközi Atomenergiái Ügynökség ajánlásainak megfelelően kategorizálni majd kezelni kell [28].

Magyarországon az 1998-ban megalakult Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhatal Társaság (RHK Kht.) foglalkozik a radioaktív hulladékok elhelyezésével és a nukleáris létesítmények leszerelésével.

A radioaktív hulladékot előbb speciális kezelésnek vetik alá, tömörítik (amennyiben lehetséges), majd becsomagolják és speciális, vastag falú beton-

vagy acélhordókba zárják. A kis- és közepes aktivitású hulladékot földfelszíni, felszín közeli vagy felszín alatti tárolóban (néhányszor 10 méter mélységű) helyezik el, a nagyaktivitású és más hosszú élettartamú radioaktív hulladékot mélygeológiai tárolóban. Az RHK Kht adatai alapján a kisebb radioaktív hulladék termelőknél (kórházak, laboratóriumok, ipari vállalatok) megközelítőleg 5-15 m<sup>3</sup> kis és közepes aktivitású hulladék és kb. 300 db elhasznált sugárforrás, valamint kb. 1000 db füstérzékelőből kiszerelt sugárforrás keletkezik évente. A leggyakoribb izotópok a <sup>60</sup>Co, a <sup>137</sup>Cs, a <sup>90</sup>Sr és a <sup>3</sup>H.

Hazánkban a kis- és közepes aktivitású nem atomerőművi hulladékokat a Püspökszilágy térségében épült hulladéktárolóban helyezik el [29].

### **Az orvos és az ápoló személyzet, hozzátartozók védelme, előírások**

A külső sugárzás elleni védekezési lehetőségek az idővédelem, távolságvédelem és sugárelnyelő rétegek alkalmazása. A leghatékonyabb sugárvédelem a fenti három módszer együttes alkalmazása, egymással kombinálva.

*Idővédelem:* Az elnyelt dózis a sugárzási térben eltöltött idővel egyenesen arányos. A sugárzási időt csökkenteni lehet felkészüléssel (munkafolyamatok átgondolása, szükséges eszközök előkészítése), begyakorlással, létszámkorlátozással és dózismegosztással, valamint a tartózkodási idő korlátozásával.

*Távolságvédelem:* Pontszerű sugárforrások esetén a kialakuló sugárzási tér dózisteljesítménye a sugárforrástól mért távolság négyzetével arányosan csökken.

*Sugárelnyelő rétegek alkalmazása:* A sugárforrás és a védeni kívánt személy közzé helyezett, megfelelően ki-

választott anyagból, méretezett sugárvédelmi falak, rétegek, ólmozott paravánok. Ólomlemez alkalmazása esetén, az ólomártalom veszélye miatt, burkolattal kell ellátni (falap, festék, stb.) [16]. A megfelelő anyag kiválasztásához ismernünk kell a sugárzás energiáját, mivel más-más fajta anyagot kell alkalmazni. Például a béta sugárzás hatótávolságának megfelelő vastagságú anyag alkalmazása teljes védelmet nyújt, azonban lényeges szempont a kis rendszámú anyag (például plexi) alkalmazása, így a fékezési röntgensugárzás keletkezése elkerülhető [12].

A sugárdózis nyomon követését segíti a különböző, a test egyes pontjain elhelyezett személyi doziméterek viselése. Ezek segítségével lehetőség van megállapítani, hogy a személyzet sugárterhelése az előírt korláton belül van-e (habár ezek a doziméterek nem fedik le a test teljes felületét). Az orvosi gyakorlatban használt doziméterek segítségével csak utólagosan lehet megállapítani a megnövekedett sugárterhelés tényét, a megelőzésben nem nyújtanak segítséget, de támpontot adhatnak a megfelelő védőfelszerelés megtervezéséhez. Ezek a védőfelszerelések (például ólomgumi kötény, kesztyű, védőszemüveg) védik a személyzetet a sugárzásnak leginkább kitett testfelületeken.

Az ionizáló sugárzás orvosi felhasználását és a védelmet elsősorban az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról, illetve 487/2015. kormányrendelet, a páciensek egészségének védelméről pedig a 31/2001. (X. 3.) EüM. rendelet szabályozza. Az atomenergia – így az izotópok – felhasználása során kialakítandó fizikai védelmi rendszerről és a kapcsolódó engedélyezési és ellenőrzési rendszerről a 190/2011 kormányrendelet rendelkezik [30].

## Összegzés

A emberek nagy része idegenkedik az ionizáló sugárzástól, de az orvosi diagnosztikában és a terápiában ez olyan esz-közt jelent, amit nem lehetne mellőzni. Az idegenkedés többnyire az ismeretek hiányán alapszik, ezért azon betegeknek esetében, akik aggodalmukat fejezik ki a kérdésben, hasznos a tanácsadás során alapvető ismereteket átadni magáról a sugárzásról és a sugárterhelésről, hiszen az előnyök a legtöbb esetben jelentősen meghaladják a daganatos betegségek kialakulásának kockázatát. Az internet-használat elterjedésével, az anyanyelven hozzáférhető, megbízható forrásból származó ismereteknek szintén meghatározó szerepe lehet.

Minden érintett védelme érdekében az ALARA elv betartása az első és legegyszerűbb lehetőség az orvosi beavatkozások során a lehető legkisebb sugárdózis elérésére. Ennek szellemében a dózis csökkentésére és a nehezen hozzáférhető szervekbe való precízebb célba juttatás érdekében egyre több technológiai újítás születik. A védőfelszerelések fejlesztésével jelentősen csökkenthető a szakszemélyzet sugárterhelése, a mozgás szabadságának minél kisebb mértékű korlátozása mellett, míg az eljárások technológiai fejlesztése a páciensek sugárdózisát csökkentheti nagymértékben. Szintén fontos összetevője a védelemnek a szabályok betartása, hiszen így csökkenthető a radiológiai balesetek valószínűsége.

A digitális képalkotás és egy megfelelően kiépített infrastruktúra segítségével csökkenthető a feleslegesen elvégzett vizsgálatok száma, hiszen ha a korábban elkészített felvételek gyorsan eljutnak a kezelőorvosokhoz, elkerülhető egy esetleges újbóli vizsgálat.

Az ionizáló sugárzás orvosi célokra történő alkalmazása nemcsak veszélyes biológiai hulladék képződésével jár együtt, de sugárzó anyag is lehet hulladék. Ezek a sugárzó hulladékok néhány esettől eltekintve (brachyterápiás seed-ek, sugárforrások) kis aktivitásúak, azonban kezelésük közben a szabályok szigorú betartásával kell eljárni és az ilyen hulladék elszállítása és kezelése a radioaktív hulladék kezelésére specializálódott társaság feladata. Így elkerülhető a radioaktív hulladék környezetbe való kikerülése.

Az ionizáló sugárzás orvosi célra történő felhasználásának előnyei megkérdőjelezhetetlenek. Mindazonáltal az emberek többsége nem szívesen veti alá magát ilyen kezeléseknél, hiszen minden ilyen eljárás egészségügyi kockázatot hordoz magában, még ha csak kis mértékben is. Fontos azonban megjegyezni, hogy a fókuszálhatóság miatt az akut mellékhatások (például hajhullás) nagyobb valószínűséggel kerülhetők el, mint például a kemoterápia esetében. A páciensek megfelelő informálása, a szabályok betartása és a technológiai fejlődés/fejlesztés vezethet a biztonságos és a legkisebb kockázattal járó radiológiai alkalmazásokhoz.

## Irodalom

- [1] Thomas, A.; Banerjee, AK.: The History of Radiology. Oxford: Oxford University Press, 2013. ISBN: 9780199639977
- [2] ELTE, Sugárvédelmi gyakorlat <http://pavogy.web.elte.hu/Fizikus/SUG/sug.html>
- [3] UNSCEAR: Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2010, Vol. I., UNSCEAR, New York
- [4] Lin, E.C: Radiation Risk From Medical Imaging, Mayo Clin Proc. 2010; 85(12):1142-1146, DOI: 10.4065/mcp.2010.0260

- [5] Verdun, FR., Bochud, F., Gudinchet, F., et al.: Radiation risk: what you should know to tell your patient. *Radiographics*, 2008, 28:1807-1816, DOI: 10.1148/rg.287085042.
- [6] Az Európai Unió Tanácsának 2013/59/Euratom irányelve, 2013. december 5. [https://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/C9BF8EABD6BD39ECC1257E4A002AF331/\\$File/2013-59-euratomiranyelv.pdf](https://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/C9BF8EABD6BD39ECC1257E4A002AF331/$File/2013-59-euratomiranyelv.pdf)
- [7] Spiegel, P.K.: „The first clinical X-ray made in America—100 years”. *American Journal of Roentgenology*. Leesburg, VA: American Roentgen Ray Society. 1995, 164 (1): 241–243, DOI: 10.2214/ajr.164.1.7998549
- [8] Roobottom, C.A., Mitchell, G., Morgan-Hughes G.: Radiation-reduction strategies in cardiac computed tomographic angiography, *Clin. Radiol.* 2010, 65(11): 859-67, DOI: 10.1016/j.crad.2010.04.021.
- [9] Smith-Bindman, R., Lipson, J., Marcus, R., et al.: Radiation dose associated with common computed tomography exams and the associated lifetime attributed risk of cancer. *Arch. Intern. Med.*, 2009, 169(22): 2078-2086, DOI: 10.1001/archinternmed.2009.427.
- [10] Országos Onkológiai Intézet, Nukleáris Medicina Osztály, [http://www.onkol.hu/hu/nuklearis\\_medicina](http://www.onkol.hu/hu/nuklearis_medicina)
- [11] Turai I., Köteles GY. (szerk.): Sugáregészségtan. Budapest: Medicina Kiadó, 2014. ISBN: 9789632265032
- [12] Porcs-Makkay L.: Sugárvédelem a Nukleáris Medicinában, Nukleáris medicina „kötelező szinten tartó” tanfolyam előadás
- [13] Sinkó D., Landherr L.: PET/CT-vizsgálatok szerepe és hatása a megfelelő terápia megválasztásában az onkológiai betegek kezelése során. *Magyar Onkológia*, 2012, 56:230–234
- [14] Levin, C.S.: Primer on molecular imaging technology, *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* 2005, 32: 325-45, DOI: 10.1007/s00259-005-1973-y
- [15] Ametamey, S.M., Honer, M., Schubiger, P.A.: Molecular Imaging with PET, *Chem. Rev.* 2008, 108: 1501–1516, DOI: 10.1021/cr0782426.
- [16] Váradi Cs.: *Sugárvédelem röntgendiagnosztikai létesítményekben*, Átfogó fokozatú sugárvédelmi tanfolyam, 2016. október 5.
- [17] Berrington De Gonzalez, A., Mahesh, M., Kim, K.P., et al.: Projected cancer risks from computed tomography scans performed in the United States in 2007. *Arch. Intern. Med.*, 2009, 169(22):2071-2077, DOI: 10.1001/archinternmed.2009.440.
- [18] Yanch, J.C., Behrman, R.H., Hendricks, M.J., McCall, J.H.: Increased radiation dose to overweight and obese patients from radiographic examinations. *Radiology*, 2009, 252(1):128-139, DOI: 10.1148/radiol.2521080141.
- [19] Ector, J., Dragusin, O., Adriaenssens, B. et al.: Obesity is a major determinant of radiation dose in patients undergoing pulmonary vein isolation for atrial fibrillation. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2007, 50(3): 234-242, DOI: 10.1016/j.jacc.2007.03.040
- [20] Clark, L.D., Stabin, M.G., Fernald, M.J., Brill, A.B.: Changes in radiation dose with variations in human anatomy: moderately and severely obese adults. *J. Nucl. Med.*, 2010, 51(6): 929-932, DOI: 10.2967/jnumed.109.073015.
- [21] Pitton, M.B., Kloeckner, R., Herber, S., et al.: MRI versus 64-row MDCT for diagnosis of hepatocellular cancer. *World J. Gastroenterol.*, 2009, 15(48): 6044-6051, DOI: 10.3748/wjg.15.6044
- [22] Park, H.S., Lee, J.M., Choi, H.K. et al. Pre-operative evaluation of pancreatic cancer: comparison of gadolinium-enhanced dynamic MRI with MR cholangiopancreatography versus MDCT. *J. Magn. Reson Imaging*, 2009, 30(3):586-595, DOI: 10.1002/jmri.21889.
- [23] Gerbaulet, A., Pötter, R., Mazon, J., et al.: The GEC ESTRO handbook of brachytherapy. Leuven, Belgium: European Society for Therapeutic Radiology and Oncology. 2002, ISBN 90-804532-6
- [24] Thomadsen, B.R. et al.: Brachytherapy Physics, AAPM Medical Physics Monograph #31, Medical Physics Publishing, 2005. ISBN: 9781930524248, 1930524242

- [25] „Treatment Types: Brachytherapy”. RT Answers. American Society for Radiation Oncology. <http://www.rtanswers.com/Brachytherapy/>
- [26] iDNES.cz, [https://praha.idnes.cz/zdrojem-zvysene-radiace-v-prazskem-podoli-byl-maly-zakopany-valecek-1gw-/praha-zpravy.aspx?c=A110929\\_083242\\_praha-zpravy\\_cen](https://praha.idnes.cz/zdrojem-zvysene-radiace-v-prazskem-podoli-byl-maly-zakopany-valecek-1gw-/praha-zpravy.aspx?c=A110929_083242_praha-zpravy_cen)
- [27] Hammond, P.J., Wade, A.F., Gwilliam, M.E. et al.: Amino acid infusion blocks renal tubular uptake of an indium-labelled somatostatin analogue. *Br. J. Cancer.*, 1993, 67(6):1437-9.
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Management of radioactive waste from the use of radionuclides in medicine, IAEA, Vienna, 2000. ISSN 1011–4289
- [29] Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság, <http://www.rhk.hu>
- [30] Hatályos jogszabálygyűjtemény, <https://net.jogtar.hu>

## G. Deli

### Radiation exposure in medicine

Since the discovery of X-rays, the spread of various radiation-based medical applications has led to an increase in the exposure of the population to artificial radiation. The benefits of using ionizing radiation for medical purposes are unquestionable. However, many people are

reluctant to engage in such diagnostic examinations or treatments, as all such procedures involve a health risk, even if only to a minor extent. To protect everyone involved, adherence to the ALARA principle is the first and easiest way to achieve the lowest possible radiation dose during medical interventions. With the spread of internet usage, reliable sources available in the native language can also play a decisive role in overcoming the unnecessary fears of the medical use of ionizing radiation, and to take seriously the problems caused by improper handling of radiation sources. This summary describes the principles of diagnostic procedures – X-ray, computed tomography, isotope diagnostics (positron emission tomography included) – as well as therapeutic applications – radiation therapy, isotope therapy, brachytherapy – the resulted radiation exposure and the possibility of risk reduction. The paper also mentions the main requirements for waste management, storage and the protection of personnel.

Key-words: *PET, CT, brachytherapy, radiation therapy, ALARA principle, radioactive waste, radiation protection*

*Deli Gábor*

*1134 Budapest, Róbert Károly krt. 44.*