

Dobor József,¹ Kiss Noémi,² Pátzay György³

Radioaktív izotópok egészségügyi használata és lehetséges kockázatainak összefoglalása

The Medical Use of Radioactive Isotopes and Summary of Potential Risks

Jelen cikk a radioaktív izotópok egészségügyben történő felhasználását és veszélyeit foglalja össze. A szerzők az egészségügyi felhasználás sokszínűségének bemutatásával szemléltetik a radioaktív izotópok alkalmazásának szükségességét, ismertetve a radioaktivitás veszélyeit. Ezek a veszélyek a biztonsági előírások be nem tartása esetén olyan eseményeket indíthatnak el, amelyek súlyos következményekkel járhatnak.

Már több mint száz éve tudatosan használják gyógyászati célzattal a radioaktív izotópokat, a velük kapcsolatos tudásanyag folyamatosan bővül, kutatások zajlanak, amelyek új lehetőségeket tárnak fel. A szén egyik instabil izotópja a szén-14 radioizotóp, amelyet az egészségügy mellett a kormeghatározásban is felhasználnak. A technécium-99m radioaktív izotópot a pajzsmirigybetegségek szcintillográfiás kimutatására használják.

Megítélésük meglehetősen ellentmondásos, ugyanis ellenőrzött körülmények között, számított mennyiségben, a sugárvédelem alapelveit betartva fontos segítői az emberiségnek, de ha egy balesetben kikerülnek a környezetbe, élő szervezet közelében káros hatásukat hosszú távon ki tudják fejteni. Napjainkra a radioaktív izotópok többsége gyakorlatilag nélkülözhetetlen, az 1900-as évek elejétől tudatosan, tervezetten szolgálják az emberiséget.

Kulcsszavak: radioaktív izotópok, egészségügyi alkalmazás, radiológiai veszélyek

¹ Habilitált egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: dobor.jozsef@uni-nke.hu

² MA-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, e-mail: kissnoemi@gmail.com

³ Egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: patzay.gyorgy@uni-nke.hu

This article summarises the use and dangers of radioactive isotopes in healthcare. The authors illustrate the need for the use of radioactive isotopes by presenting the diversity of medical uses, explaining the dangers of radioactivity. These hazards can trigger events with serious consequences if safety regulations are not respected. Radioactive isotopes have been consciously used for medical purposes for more than a hundred years, the body of knowledge related to them is constantly expanding, and research is taking place that reveals new possibilities. One of the unstable isotopes of carbon is the carbon-14 radioisotope, which is used not only in healthcare but also in age determination. The radioactive isotope technetium-99m is used for scintillographic detection of thyroid diseases. Their assessment is rather ambivalent, because under controlled conditions, in calculated quantities, and in compliance with the basic principles of radiation protection, they are important helpers to humanity, but if they are released into the environment in an accident, they can exert their harmful effects in the long term near a living organism. Nowadays, the majority of radioactive isotopes are practically indispensable, they have been consciously and deliberately serving humanity since the beginning of the 1900s.

Keywords: radioactive isotopes, health applications, radiological hazards

1. Bevezetés

Az ipari alkalmazás mellett napjainkban az egészségügyben alkalmazzák rendszerint a radioaktív izotópokat. Bár nagy kockázatokat hordoz magában, amennyiben ellenőrizetlenül kerül a környezetbe, veszélyeit az emberiség a biztonságos felhasználással előnyre formálta. Az egészségügyben több céllal is alkalmazzák a radioaktivitást. A daganatos megbetegedések során a célzott sejtpusztítás mellett felhasználható a képkeltő diagnosztikában, továbbá tartós izületi gyulladás kezelésére, fájdalomcsillapításra és pajzsmirigybetegek gyógyítására is. A továbbiakban mindazon előnyök mellett, amelyekre az emberiség a radioaktív izotópok egészségügyi felhasználása által tett szert, bemutatjuk azokat a veszélyeket, amelyeket a radioaktivitás jelent.

A periódusos rendszerben található 118 elem közül mindössze 94 fordul elő a természetben. Jelenlegi tudásunk szerint 254 stabil izotóp létezik, és több mint 3000 radioaktív izotóp ismeretes, közülük körülbelül 84 található meg a természetben.⁴

2. A radioaktív izotópok felhasználása a képkeltő diagnosztikában

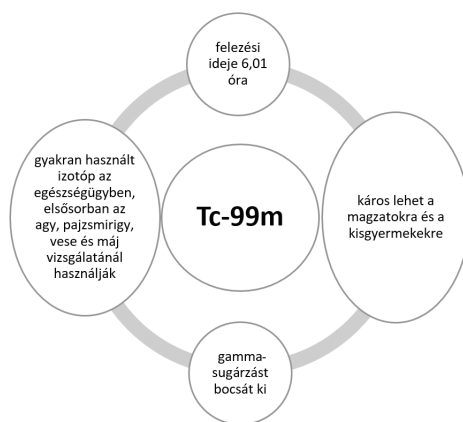
A radioaktív izotópok felhasználása a képkeltő vizsgálatok során hatalmas előnyt jelent egyes rendellenességek kimutatása során, megbetegedések feltérképezésében a korai stádiumban, továbbá támogatást nyújt az ezekre irányuló terápiák kialakításában. A velük történő vizsgálatok olyasforma csekély sugárterheléssel járnak, mint a röntgenvizsgálatokkal járó sugárterhelés. Az izotópdiagnosztikai eljárásokkal sokkal hamarabb feltérképezhető a szerv kóros állapota, így egy csontáttétes daganat akár fél évvel korábban feltárható ezzel

⁴ International Atomic Energy Agency é. n.

a vizsgálati módszerrel, mint röntgenfelvétellel.⁵ A vizsgálatok során az instabil izotópot szájon át, belélegezve vagy a leggyakrabban vénás úton juttatják be az emberi szervezetbe.⁶

A csontszcintigráfia⁷ a leggyakrabban elvégzett izotópdiagnosztikai eljárás, amellyel megvizsgálható a csontok állapota. A daganatos megbetegedések esetében kimutatható vele, hogy a daganat adott-e csontáttétet, de nem megfelelően gyógyuló csonttörések esetében és az ok nélkül bekövetkező csontfájdalmak vizsgálására, valamint állapotfelmérésre is használható ízületi protézisek esetében. A csontszcintigráfia működési elve a foszfátok csontokba való beépülésének mérésén alapszik. A vizsgálatok során általában technécium radioizotóppal jelölik meg a szerves foszfátot, amelyet aztán a véráramba vénán keresztül juttatnak be. A gamma-sugárzó technécium izotóp eloszlását a szervezetben úgynevezett gamma-kamerák⁸ segítségével figyelik meg, amellyel a csontok állapota határozható meg.⁹

Az 1. ábrán a technécium-99m radioaktív izotóp jellemzőit foglaltuk össze.



1. ábra: Technécium-99m radioaktív izotóp jellemzése

Forrás: a szerzők szerkesztése az International Atomic Energy Agency 2009a. alapján

A szív vérrel való ellátottsága és a szívizmok károsodása kimutatható a szívizom izotópos vizsgálatával, amelyre az egyik legalkalmasabb izotóp a technécium-99m.¹⁰ A vizsgálat kétnapos, ugyanis terheléses és nyugalmi vizsgálatokból áll. A terheléses vizsgálat éhgyomorral zajlik, a vizsgálatot megelőzően semmilyen szívre ható gyógyszer nem alkalmazható. A vizsgált személy véráramába izotóppal jelzett értágító gyógyszert juttatnak. A nyugalmi vizsgálat ugyancsak éhgyomorral zajlik, azonban már bevehetők a szív működést befolyásoló gyógyszerek, és értágító szer nélkül adják be az izotóppal jelzett anyagot. A vizsgálatok a radioaktív anyag beadását követően, másfél óra elteltével

⁵ Csinády 2018.

⁶ Rosenblatt-Zubizarreta 2017.

⁷ A rosszindulatú daganatok csontáttéteinek kimutatására szolgáló egyik legérzékenyebb képalkotó eljárás.

⁸ A nukleáris medicina esetében alkalmazott diagnosztikai eszköz, amellyel gamma-sugárzást kibocsátó nuklidok (pl. ¹³¹I, ^{99m}Tc) szervezetben belüli eloszlása vizsgálható.

⁹ Halama et al. 2019.

¹⁰ International Atomic Energy Agency 2009a.

kezdődnek meg, és nagyjából húsz perc időtartamúak. A gamma-kamerával felvételeket készítenek, a vizsgálatok végeredményeit összehasonlítva alkotják meg a diagnózist.¹¹

A vese működéséről általában a technécium-99m izotóppal alkotnak képet, amellyel feltárható a szerv károsodása, alaki és működési rendellenességei. A vizsgálat segítségével megállapítható, hogy a szerv mekkora része működőképes, valamint kimutatható a térfogatának nagysága. A vese funkciójának vizsgálata alkalmával a tisztítási hányados szerint elenyésző mennyiségű radioaktív izotóppal jelezhető a működése. A vizsgálat igazolhatja vagy kizárhatja a húgyutak elzáródását, megállapítható a reflux fennállása és annak mértéke, továbbá megállapítható, hogy a magas vérnyomást a veseartéria szűkülete okozza-e.¹² Az izotópokat a véráramba bejuttatva azonnal megkezdődnek a vizsgálatok, fél órás időtartamban gamma-kamerán keresztül figyelik meg a szerv működését. Amennyiben a vese megfelelően funkcionál, a radiofarmakon¹³ négy óra alatt majdhogynem teljesen kikerül a páciens szervezetéből.¹⁴

- Izotópos vizsgálattal a máj rosszindulatú megbetegedései is indikálhatóak, mint például az áttétes májdaganat, illetve a károsodás nagysága. Megállapíthatók vele májbetegségek, akárcsak a hepatitis vagy a májsugor, továbbá a gócos májeltérések.¹⁵ Szervátültetést követően a máj szövödményeinek jelzésére ugyancsak használható az izotópos vizsgálati eljárás. Ennek során technécium-99m izotópot használnak, amelynek a véráramba juttatása után 20-30 perccel készítenek felvételeket.¹⁶ Az epe kivizsgálása során az epe működését, továbbá az esetleges elzáródásait figyelik meg. A vizsgálódások előtt a betegnek 4-6 órán át tilos étkeznie a pontos eredmények érdekében. Ha a vizsgált személy rendelkezik epehólyaggal, a vizsgálat folyamán az epe összehúzódásának elősegítéséért étcsokoládét kell fogyasztania.¹⁷
- Izotópok segítségével, kiegészítő jellegű módszerrel vizsgálható az agy stroke esetében, továbbá az agyi vérellátás aktuális állapota is meghatározható agyiér-betegségek gyanúja esetén. Adott esetben alkalmazzák az agyhalál kimutatására. Az izotópos vizsgálatot igénybe veszik mozgászavarok eredetének felmérésére és pszichiátriai elemzések esetében is. A technécium-99m izotóppal indikált hexametil-propilénamin-oxid a véráramba kerül, majd a radiofarmakon a véráramlással összegyűlik az agyszövetben.¹⁸ A vizsgálatot megelőzően a betegek – a nyálmirigyek képeken való megmutatkozásának redukálása érdekében – gyógyszert kapnak, ezen felül előfordul, hogy egy a vér áramlását növelő gyógyszer is be kell venniük. A véráramlás-fokozó szer generálhat szédülést, hányingert, ízérzékelési zavarokat, fejfájdalmakat és fülzúgást. A vizsgálatok nem éhgyomorra történnek, azonban az előtte levő napon tilos alkoholt és koffeint tartalmazó folyadékokat fogyasztani.¹⁹

¹¹ Halama et al. 2019.

¹² Varga 2002.

¹³ Gyógyászatban használt radioaktív izotóp felhasználása specifikus anyag jelenlétében.

¹⁴ Srivastava et al. 2012.

¹⁵ Srivastava et al. 2012.

¹⁶ International Atomic Energy Agency 2009a.

¹⁷ Taylor et al. 2018.

¹⁸ Györke é. n.

¹⁹ Jodzio et al. 2002.

3. Pajzsmirigykezelés jód-131 alkalmazásával

- A gége előtt, kétoldalon pozicionáló pajzsmirigy a szervezet legnagyobb belső elválasztású mirigyje. A pajzsmirigy révén termelt hormon, a thyroxin befolyásolja az anyagcserét és az energiefelhasználást. A pajzsmirigy hormontermeléséért az agyalapi mirigyből eredő TSH²⁰ felel.²¹
- A pajzsmirigy rendellenes működés esetében alulműködhet, illetőleg túlműködhet. A TSH hiánya esetén pajzsmirigy alulműködés alakulhat ki, amely különböző panaszokat idézhet elő, mint a fáradékonyság, a székrekedés, a hízás, a depresszió, de okozhatja a magzat nem megfelelő fejlődését is. Pajzsmirigy túlműködést sugallhat a foltokban történő hajhullás, az alvásminőség romlása, a szapora szívverés, a testtömeg hirtelen emelkedése vagy redukálódása, az izmok gyengeségének jelentkezése, a légzési nehézség vagy a kezek remegése is.²² A pajzsmirigy alulműködése gyógyszerekkel, műtéttel, illetve radiojóddal²³ kezelhető. Abban az esetben, ha gyógyszerrel történő kezelés nem hoz eredményeket másfél év elteltével, illetve, ha nem áll fenn az alkalmazást kizáró ok, akkor a radiojóddal történő kezelés javasolt, mivel az ismételt gyógyszeres kezelés sikerességére csupán 25% esély áll fenn. A radiojódos kezelés célja a pajzsmirigy működési zavarának, valamint a pajzsmirigy mérete fokozódásának megszüntetése, továbbá a mirigy méretének redukálása.

A 2. ábrán a jód-131 radioaktív izotóp jellemzése látható.



2. ábra: Jód-131 radioaktív izotóp jellemzése

Forrás: a szerzők szerkesztése az International Atomic Energy Agency 2009b. alapján

²⁰ Thyreoid stimuláló, pajzsmirigyserkentő hormon.

²¹ Melish 1990.

²² Babai 2017.

²³ Radiojód: a nukleáris medicinában a jód-131 radioaktív izotóp rövid elnevezése.

4. Fájdalomcsillapítás izotópokkal

Fájdalomcsillapítás céljából ugyancsak felhasználják a radioaktív izotópokat, abban az esetben, ha a rosszindulatú daganatos megbetegedés előidézte csontfájdalmak már másfajta módszerrel nem enyhíthetők, még bódító hatású fájdalomcsillapítókkal sem. Ez esetben a béta-sugárzó ittrium-90, illetőleg a szamárium-153 izotópokat alkalmazzák. Pozitív tulajdonsága e fájdalomcsillapító eljárás módjának, hogy csekélyebb mennyiségű mellékhatással jár, szemben egy bódító hatású fájdalomcsillapítóval, mindemellett, ha jelentkezik valamiféle mellékhatás, az hamarabb szűnik meg. Az izotópos fájdalomcsillapítással párhuzamosan továbbra is alkalmazhatóak az azt megelőzően szedett fájdalomcsillapítók. A kezelés több alkalommal ismételhető, 2-3 havonta, abban az esetben, ha az előző eljárás hatásosan csillapította a fájdalmat. A csontfájdalmakat a megnövekedett csontképződés idézi elő. Az eljárás alkalmával a radioizotópos szer a fokozott csontképződés helyén koncentrálódik. A kezelés – a szerzők véleménye szerint – azért megfelelőbb, mint a bódító hatású gyógyszerekkel való csillapítás, mert ott enyhíti a fájdalmakat, ahol a legszükségesebb, valamint csekélyebb eséllyel alakulhat ki a gyógyszerfüggőség.

4.1. Izotópos ízületi kezelés

Az emberek nagyjából három százalékát érinti a hosszú ideig fennálló ízületi gyulladás. Az érintetteknek leggyakrabban a térd ízületében jelentkezik fájdalommal járó, akár rokkantsághoz vezető gyulladással járó állapot.²⁴

A betegség okán sűrűn roncsolódik a porcszövet, ami az ínszalagok szakadását, károsodását is eredményezheti. Az ízület gyulladással járó megbetegedésének fő jellemzője a fokozott ízületi folyadéktermelés. 1952 óta számtalan esetben alkalmazták műtéti beavatkozásokat elkerülve a radioaktív izotópos ízületi kezelést.²⁵ A kezelés alkalmával a beteg ízületburjánzását béta-sugárzás segítségével megfékezik. A radioaktív szert fecskendő segítségével juttatják be az ízület közelébe, amely rövid felezési idejének okán kis idő elteltével nem kimutatható a szervezetben. Az alkalmazás után jelentkezhetnek olyan mellékhatások ideiglenesen, mint az ízület gyulladása és felmelegedése. A beavatkozást előnyössé teszi, hogy nem jár olyan nagyságrendű fájdalommal, mint egy műtéti beavatkozás, azonban az alkalmazás sikerességének aránya elismerésre méltó. A kezelték döntő többsége a kezelés sikerességét igazolja, fájdalmak csökkenéséről és jobb életminőségéről számol be.

4.2. Daganatok gyógyítása

A daganatok kialakulására való hajlam lehet örökletes, azonban annak jelentkezéséhez nagyban hozzájárulhatunk rossz életmódunkkal is.²⁶ A környezeti hatások,

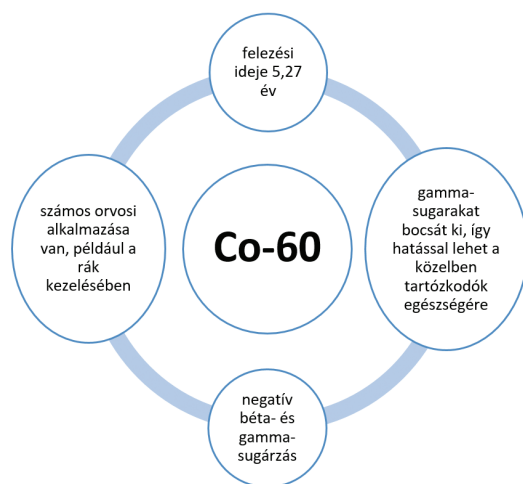
²⁴ Wallace et al. 2017.

²⁵ Szentesi et al. é. n.

²⁶ Varga 2012. 133.

az életmódból adódó gyakori stressz és az életkor, valamint az egyén más betegségei is rizikófaktort jelentenek.²⁷ Manapság az időben feltárt és kezelt betegségek körülbelül 60%-a meggyógyítható. A daganatok elpusztítására irányuló legkorábban alkalmazott és bevált gyógyászati módszer a műtéti beavatkozás. Ennek hátránya az esetlegesen felmerülő szövethiány, ez okból kifolyólag az orvostudomány fejlődésével fellendült a konzervatív, szerv- és szövetmegtartó gyógyító eljárások alkalmazása.

A kobalt-60 radioaktív izotópot jelen cikkünk csak érintőleg említi, de indokolt rövid bemutatása, ábra segítségével. A 3. ábrán a kobalt-60 radioaktív izotópot jellemeztük.



3. ábra: Kobalt-60 radioaktív izotóp jellemzése

Forrás: a szerzők szerkesztése az International Atomic Energy Agency 1990. alapján

Ezen eljárásokkal hasonló minőségű eredmények érhetőek el mindamelllett, hogy a betegek életminősége nem romlik annyira, mint egy műtétet követően.²⁸ Rosszindulatú megbetegedések kezelése alkalmával az esetek nagyjából 50-60%-ában javasolt sugárkezelés is. A külső sugárterápia esetében kobaltágyúval külsőleg, gamma-sugárzással kezelik a szövetet. A kezelés eredményének érdekében kialakítanak olyan biztonsági zónákat, amelyek kis méretű és jól körülírt daganatoknál három-öt milliméteresek, nagy méretű daganatoknál pedig öt-tíz milliméteresek. A kezelés során az ép állapotban lévő szöveteket három-négy milliméter vastagságú ólomszekkel árnyékolják.²⁹ A közelbesugárzás, avagy brachyterápia³⁰ alkalmával a beteget a szövet közti terébe, esetlegesen a testüregébe zárt sugárforrást juttatva gyógyítják. Belső sugárterápiás kezeléseknél gamma- és béta-sugárzó izotópot használnak, illetőleg neutronforrásokat. A közelbesugárzás során az egyike a leggyakrabban felhasznált béta-sugárzó izotópoknak a stroncium-90, gamma-sugárzó izotópok közül pedig

²⁷ World Health Organization 2020.

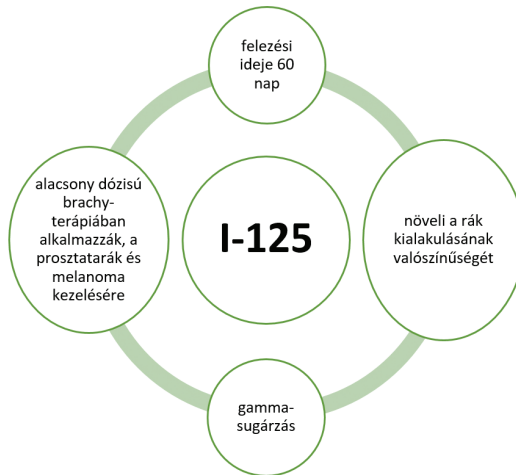
²⁸ Rosenblatt-Zubizarreta 2017.

²⁹ Kovács 2014. 464.

³⁰ A brachyterápia a sugárkezelés egyik típusa. A kezelés során eszközök közvetítésével radioaktív sugárforrást juttatnak a daganatba, vagy annak közelébe, ez végzi el a daganat roncsolását. Gyakran alkalmazott radioaktív izotópok: irídium-192, jód-125.

az irídium-192. A sugárforrást lehet ideiglenesen, implantátumként alkalmazni, ebben az esetben a tervezett dózis elérésével a betegből eltávolítják a sugárforrást, illetőleg léteznek állandó implantátumok, amelyeket nem távolítanak el. Ez utóbbi sugárforrásoknak sokkal rövidebb a felezési idejük.³¹

Előzőleg a jód-131 radioaktív izotópot is bemutattuk, ezért a jód egy másik izotópjának fontos alkalmazását foglaltuk össze a 4. ábrán, hangsúlyozva a jód radioaktív izotópjainak gyakorlati jelentőségét.



4. ábra: Jód-125 radioaktív izotóp jellemzése

Forrás: a szerzők szerkesztése az International Atomic Energy Agency 2006. alapján

5. A radioaktivitás veszélyei

A Föld lakosságának sugárterhelése 32%-ban mesterséges eredetű, 68%-ban pedig természetes eredetű sugárzásokból áll össze. Mesterséges eredetű források azok, amelyeket az ember hozott létre, ilyen például a röntgenső és az atomreaktor.³² Természetes eredetű sugárforrás az űr és a földkéreg.³³ A radioaktív sugárzások okozzák leggyakrabban a sejtek örökítőanyagának károsodását. A nagyobb dózisban kapott radioaktív sugárzás a sejtek jelentős mértékű károsodását idézheti elő, amelynek hatása rövid idő elteltével jelentkezhet, akár halálos végkimenetelű is lehet napokon belül. Az ionizáló sugárzások késői hatásai évekkel később is felléphetnek, akár az utódoknál is, ilyen következmény lehet például a daganatok jelentkezése. Az ionizáló sugárzás használatbavételét igénylő munkafolyamatokat ellátó munkavállalók veszélyeztetettek a késői és a korai hatások tekintetében is. Determinisztikus hatások elsősorban

³¹ Pesznyák-Sáfrány 2017.

³² Országos Atomenergia Hivatal 2019.

³³ Országos Atomenergia Hivatal 2019.

egy-egy baleset bekövetkezése esetében alakulhatnak ki. A sztochasztikus hatás kialakulása függ a kapott dózistól, az időtartamtól, mindemellett a gyakoriságtól is.³⁴ Az ionizáló sugárzások bármilyen daganat jelentkezését előidézhetik, azonban léteznek olyan szövetek, amelyek az átlagosnál is érzékenyebbek a sugárzásokra. A felnőttek génállománya teherbíróbb, mint a gyermekéké, a fiatal korosztály hajlamosabb a sugárzástól eredő génmutációra, ezen okból kiindulva fontos izotópos kezeléseket követően a megfelelő és előírt távolságot megtartani a kisgyermekektől, a várandós nőktől és a kisgyermekeket szoptató édesanyáktól. A radioaktív sugárzás a fiatalok esetében gyakran vérbézségi rendellenességet, leukémiát idéz elő.³⁵

- A külső sugárterhelés elleni védelem többféle módszerrel megvalósítható, ilyen például a sugárforrástól való távolságtartás, a közelben tartózkodás időtartamának csökkentése és az árnyékolás. A belső sugárterhelés ellen védekezhetünk különféle védőöltözetekkel, valamint kisebb aktivitású nyílt sugárforrások esetében elkerülhető, amennyiben kellően ügyelünk rá, hogy szervezetünkbe ne kerüljön be. A már szervezetbe bejutott radioaktív izotóp károsító hatása minimalizálható azzal, ha ugyanazon kémiai elem stabil izotópjainak egyikét a szervezetbe juttatjuk, hígítva ezzel instabil izotópját.³⁶

Olyan munkavállalók esetében, akik radioaktív források felhasználásával végzik munkatevékenységüket, elengedhetetlen, hogy a Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatban rögzítetteket betartsák, valamint, hogy az előírt védőeszközöket alkalmazzák. A pajzsmirigy vizsgálatáról, gyógyításáról már volt szó az előzőekben, ezért ismertetjük a jód-123 radioaktív izotópot az 5. ábrán.



5. ábra: Jód-123 radioaktív izotóp jellemzése

Forrás: a szerzők szerkesztése az International Atomic Energy Agency 2009c. alapján

³⁴ Pátzay–Dobor 2016.

³⁵ Országos Atomenergia Hivatal 2019.

³⁶ Lásd: <http://atomfizika.elte.hu/kornyzizlab/docs/ADM/index.html>

Veszély esetén a lakosság a leghatékonyabban úgy tud védekezni a radioaktív sugárzások ellen a védekezésre rendelt erők megérkezéséig, ha minél hamarabb zárt és védett helyre vonul, valamint védőeszközöket alkalmaz. Elengedhetetlen az utasítások fegyelmezett betartása. Olyan, levegőben szálló radioaktív szennyeződések, mint a por, ellen védelmet jelenthet, ha a nyílászárókat eltömítik. A légzés időleges védelmét nyújthatja az arc többrétegű, vizes textiliákkal való fedése.³⁷

6. Összegzés

Napjainkban az ipari alkalmazások után az egészségügyben használják a legtöbbször a radioaktív izotópokat. Az izotópok felhasználásának fontos szerepe van a képalkotó diagnosztikában, felhasználásuk hiányában az emberiséget érintő megbetegedések bizonyos számát csak a betegség előrehaladott állapotában lehetne kimutatni. Az izotópdiagnosztikai eljárások rengeteg rendellenesség és betegség korai diagnosztizálását teszik elérhetővé, mindemellett segítséget nyújtanak a terápiák pontos kialakításában is. Képalkotó vizsgálatok alkalmával radioaktív izotópot juttatnak a szervezetbe, amelyek anélkül vesznek részt a szervezetben lezajló folyamatokban, hogy azokat befolyásolják. A radioaktív nyomjelző anyagokból kibocsátott sugárzás alapján lehet képet kapni speciális műszerek használatával az anyagok szervezetben való eloszlásáról, dúsulásáról, illetve kiürüléséről. A betegségek felismerése azok korai szakaszában elősegíti a gyógyulást. A rosszindulatú megbetegedések gyógyítása során napjainkban szükséges a radioaktív izotópok alkalmazása. Régen ezeket a betegségeket kockázatos műtétekkel gyógyították, amelyek számos esetben az életminőség romlását idézték elő. Az izotópok egészségügyi alkalmazása elősegíti, hogy a társadalom tagjai korszerű egészségügyi ellátásban részesüljenek. A csontáttétes daganatok gyógyítására is alkalmazhatóak az instabil izotópok, valamint a csontfájdalmak eredményes csillapítására is. A radionuklid-terápia alatt olyan szereket juttatnak az emberi szervezetbe, amelyek a daganatos szövetben megkötődnek, majd a kibocsátott radioaktív sugárzás célzott sejtpusztulást eredményez.³⁸ A radioaktív izotópok veszélyt jelenthetnek, de az előírások létrehozása, majd azok betartása által a kockázatok csökkenését értük el. Megfelelő és biztonságos megközelítéssel a radioaktív izotópok felhasználására szükség van.

A kutatások szerint több mint 3000 radioaktív izotóp ismeretes, és időben előre haladva a technológiai fejlettségi útvonalon egyre több alkalmazható a mindennapokban.

Felhasznált irodalom

Babai László (2017): *Pajzsmirigy*. Online: www.endokrinkozpont.hu/pajzsmirigy
Csinády Virág (2018): *Csontszcintigráfia szerepe a malignus tumorok staging és restaging vizsgálataiban*. Online: <http://midra.uni-miskolc.hu/document/28804/24591.pdf>

³⁷ Domokos 2011.

³⁸ Környei–Mikecz 2012.

- Domokos Endre szerk. (2011): *Környezetmérnöki Tudástár*. 14. kötet. Sugárvédelem. Veszprém, Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet. Online: <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/14-sugvedelem.pdf>
- Györke Tamás (é. n.): *Nukleáris Medicina*. Online: http://oftankonyv.reak.bme.hu/tiki-index.php?page=Nukle%C3%A1ris+medicina&structure=Orvosi_Gradu%C3%A1lis&no_bl=y
- Halama, James R. – Chair, Daryl Graham – Harkness, Beth A. – Kappadath, S. Cheenu – Madsen, Mark T. – Massoth, Richard J. – Patton, James A. – White, Sharon L. – Williams, Lawrence E. – Wooten, Wesley W. (2019): *Acceptance Testing and Annual Physics Survey Recommendations for Gamma Camera, SPECT, and SPECT/CT Systems*. The Report of AAPM Task Group 177. Alexandria, American Association of Physicists in Medicine. Online: <https://doi.org/10.37206/184>
- International Atomic Energy Agency (é. n.): *Radioisotopes*. Online: www.iaea.org/topics/nuclear-science/isotopes/radioisotopes
- International Atomic Energy Agency (1990): *Guidelines for Industrial Radiation Sterilization Of Disposable Medical Products (Cobalt-60 Gamma Irradiation)*. Vienna.
- International Atomic Energy Agency (2006): *Production Techniques and Quality Control of Sealed Radioactive Sources of Palladium-103, Iodine-125, Iridium-192 and Ytterbium-169*. Vienna, (2006. június). Online: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/078/37078974.pdf?r=1&r=1
- International Atomic Energy Agency (2009a): *Technetium-99m Radiopharmaceuticals: Status and Trends*. Vienna. Online: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1405_web.pdf
- International Atomic Energy Agency (2009b): *Nuclear Medicine in Thyroid Cancer Management: A Practical Approach*. Vienna. Online: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1608_web.pdf
- International Atomic Energy Agency (2009c): *Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods*. Technical Reports Series No. 468. Vienna. Online: https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/trs468_web.pdf
- Jodzio, Krzysztof – Lass, Piotr – Nyka, Walenty – Gasecki, Dariusz – Bandurski, Tomasz – Scheffler, Justyna (2002): Cerebral Blood Flow Spect Imaging in Right Hemisphere-Damaged Patients With Hemispatial Neglect. A Pilot Study. *Nuclear Medicine Review – Central & Eastern Europe*, 5. évf. 1. sz. 49–51.
- Kovács Árpád szerk. (2014): *Sugárterápia*. Budapest, Medicina Könyvkiadó Zrt. Online: <http://tamop.etk.pte.hu/tamop412A/tananyag/sugarterapia/sugarterapia.pdf>
- Környei József – Mikecz Pál (2012): Radiokémia a gyógyítás szolgálatában. *Magyar Tudomány*, 173. évf. 2. sz. 141–145. Online: http://epa.oszk.hu/00600/00691/00098/pdf/mtud_2012_02_0141-0145.pdf
- Melish, John S. (1990): Thyroid Disease. In Walker, H. K. – Hall, W. D. – Hurst, J. W. szerk.: *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. 3rd edition. Boston, Butterworths; Chapter 135. Online: www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK241/
- Országos Atomenergia Hivatal (2019): *SV-18. sz. útmutató. Bővített fokozatú sugárvédelmi képzéseken és továbbképzéseken oktatók számára*. Budapest, (2019. november)

- ber). Online: [www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C-1257F41003303E7/\\$File/SV_18_1.0.pdf](http://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C-1257F41003303E7/$File/SV_18_1.0.pdf)
- Pátzay György – Dobor József (2016): Ipari tevékenységekből eredő veszélyforrások és elhárításuk. Budapest, NKE Katasztrófavédelmi Intézet. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/10285>
- Pesznyák Csilla – Sáfrány Géza szerk. (2017): *Sugárbiológia*. Budapest, Typotex eKiadó.
- Rosenblatt, Eduardo – Zubizarreta, Eduardo szerk. (2017): *Radiotherapy in Cancer Care: Facing the Global Challenge*. Vienna, International Atomic Energy Agency.
- Srivastava, Mukesh – Gaikwad, Rajiv – Samad, A. – Sharma, Barkha – Srivastava, Ashish (2012): Diagnosis of Nephritis by Analysis of 99 Mtc-Dtpa Renal Scintigram Curve in a Dog. *Veterinary Practitioner*, 13. évf. 1. sz. 80–81. Online: www.researchgate.net/publication/289388237_Diagnosis_of_nephritis_by_analysis_of_99_MTC-DTPA_renal_scintigram_curve_in_a_dog
- Szentesi Margit – Rajtár Mária – Géher Pál – Pellet Sándor – Balogh Ildikó (é. n.): Radiosynoviorthesis-módszertani útmutató (radiosynovectomia). Krónikus synovitisek kezelése beta sugárzó izotóppal. Online: www.nmc.dote.hu/nmszk/NMSZK_modszertan/10_7_radiosynovior.pdf
- Taylor, Andrew T. – Brandon, David C. – de Palma, Diego – Blaufox, M. Donald – Durand, Emmanuel – Erbas, Belkis – Grant, Sandra F. – Hilson, Andrew J. W. – Morsing, Anni (2018): SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Diuretic Renal Scintigraphy in Adults With Suspected Upper Urinary Tract Obstruction 1.0. *Seminars in Nuclear Medicine*, 48. évf. 4. sz. 377–390. Online: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.02.010>
- Varga Gábor (2012): *Daganatok kórélettana*. Online: <https://semmelweis.hu/oralbiologia/files/2012/12/12-Daganatok-Varga.pdf>
- Varga József szerk. (2002): *Nukleáris Medicina Tankönyv. 1977–2002*. Debreceni Egyetem Nukleáris Medicina Tanszék. Online: www.nmc.dote.hu/nmtk/index.html
- Wallace, Ian J. – Worthington, Steven – Felson, David T. – Jurmain, Robert D. – Wren, Kimberly T. – Maijanen, Heli – Woods, Robert J. – Lieberman, Daniel E. (2017): Knee Osteoarthritis Has Doubled in Prevalence Since the Mid-20th Century. *PNAS*, 114. évf. 35. sz. 9332–9336. Online: <https://doi.org/10.1073/pnas.1703856114>
- World Health Organization (2020): *Report on Cancer: Setting Priorities, Investing Wisely and Providing Care for All*. Geneva, (2020. február 3.). Online: www.who.int/publications/i/item/9789240001299