

A PET ÉS A KÖRNYEZET

Az egészségügyi kormányzat tisztán látja a pozitronemissziós tomográfia (PET) módszerrel végzett vizsgálatok jelentőségét, és ezért növelni szándékozik a hazai PET-vizsgálatok számát. A döntés eredményeképpen konkrét előkészítő munkálatok kezdődtek több új PET-program elindítása érdekében, és erről az utóbbi időben számos híradás jelent meg a médiában. E közlemények olyan megállapításokat is tartalmaztak, amelyek félreérthetőek, illetve amelyek kiegészítésre szorulnak annak érdekében, hogy a közvélemény a valóságnak megfelelően tudja megítélni a módszerrel kétségkívül együtt járó, bizonyos mértékű kockázatot és környezetszennyezést.

Mint ismeretes (lásd *Fizikai Szemle* 1995. XLV. évf. 5. szám), a PET-módszerrel a szervezetben lejátszódó szöveti-biokémiai folyamatokról lehet információt szerezni. Ez azon alapul, hogy az élő szervezetbe bejuttatott, meghatározott anyagcsere-folyamatokban részt vevő és alkalmasan megválasztott molekulák egy viszonylag rövid, úgynevezett ekvibrációs idő után az anyagcsere-folyamatok regionális eloszlásától és pillanatnyi intenzitásától függő módon oszlanak el a szervezetben. A bejuttatott molekulákat pozitronbomló radioaktív izotópokkal szokás megjelölni a szervezet funkcionális állapotára jellemző eloszlás meghatározásához.

A nukleáris medicinában általános adatgyűjtés a radiógóyszerrel injektált vizsgálati személy közelébe helyeztetve detektorrendszerrel történik. A mért adatok rendszerezésével elő lehet állítani a vizsgálat tárgyát képező háromdimenziós radioaktivitás-eloszlás különböző irányú vetületi képeit. Ez utóbbiakból megfelelő rekonstrukciós szoftverek háromdimenziós adathalmazt generálnak, amelyből a radioaktivitás-eloszlás jellemzői meghatározhatók.

A PET-vizsgálatok során elkerülhetetlen, hogy a vizsgálati személy szöveteit sugárterhelés ne érje. A kérdés megítéléséhez tekintettel kell lenni arra, hogy bizonyos mértékű kockázat minden diagnosztikai kivizsgálással együtt jár. Teljes biztonsággal állítható, hogy a PET-vizsgálattal nyerhető információ az esetek meghatározó hányadában más módszerrel nem pótolható, és a módszerrel együtt járó kockázat sem haladja meg az egyéb kivizsgálásokhoz rendelhető rizikó mértékét. Ez magyarázza, hogy a PET-vizsgálatok egyre nagyobb szerepet kapnak az orvosi diagnosztikában.

A fentiek szerint a PET-módszerrel kapcsolatos környezetszennyezés két összetevőből áll. Számolni kell

egyrészt a vizsgálatban részt vevő személyeket érő sugárterheléssel, másrészt, végig kell gondolni azt is, hogy a módszer által megkövetelt radioaktivitás előállítás mennyire terheli meg a környezetet. Az alábbiakban külön-külön taglaljuk röviden ezt a két komponenst.

A kivizsgált betegek sugárterhelése szempontjából kiemelkedő jelentősége van a PET-kamerák nagy érzékenységének, ami több tényező együttes eredménye. Az alternatív lehetőséget kínáló, SPECT (*Single Photon Emission Computer Tomography*) módszer alkalmazása során a szervezetben lejátszódó radioaktív bomlások gamma-fotonjait egy vagy több, 40–60 cm méretű, a vizsgált testrész közelében elhelyezett szcintillációs kristály(ok) detektálja (detektálják). Ez az elrendezés egy adott geometriában egyidejűleg csak egy (illetve számban a szcintillációs kristályok számával azonos) irányú vetületi kép elkészítését engedi meg, így a detektorrendszert a vizsgálat során a beteg hossz tengelye körül körbe kell forgatni. A PET-kamerák detektorrendszere több ezer szcintillációs kristályból áll, amelyek gyűrűszerű elrendezésben veszik körül a vizsgált személyt. A detektálás koincidencia üzemmódban történik, hiszen a pozitronbomlást követő, annihilációs kölcsönhatásokból származó, 511 keV energiájú, összetartozó fotonok néhány nsec-on belül azonos időben érik el a detektorrendszer két elemét (a bomlásból származó pozitronoknak a biológiai szövetekben mért 0,5–1,5 mm-es hatótávolsága miatt az annihilációk hely szerinti eloszlása ilyen pontossággal egyezik meg a bomló atommagok térbeli eloszlásával, ami a PET-képalkotás 3,5–5 mm-es felbontóképességére való tekintettel teljesen elfogadható). A koincidenciaesemények megfelelő rendszerezésével a különböző irányú vetületi képek egyidejűleg készíthetők el, így az adatgyűjtés lényegesen rövidebb idő alatt elvégezhető, illetőleg csökkenthető az injektált radioaktivitás mennyisége.

Hasonlóképpen fontos a beteget érő sugárterhelés alacsony szinten tartása szempontjából, hogy a PET-vizsgálatokban rövid felezési idejű izotópokat alkalmaznak. A PET-vizsgálatok időtartama 10–90 perc, a leggyakrabban alkalmazott izotópok felezési ideje pedig 2–110 perc közé esik. Így a szervezetbe bejuttatott radioaktivitásnak igen nagy hányada közvetlenül „felhasználásra kerül” a képalkotáshoz. A PET-vizsgálatokban leggyakrabban egy ¹⁸F-izotóppal jelölt, cukoranalóg készítményt (FDG-t) alkalmaznak. Egy-egy vizsgálatához 5–10 mCi FDG-t injektálnak, egy ilyen vizsgálat 5–11 mSv abszorbeált dózist jelent. Az aminosavtranszport és fehérje-anyagcsere vizsgálatára szolgáló ¹¹C-izotóppal jelölt metioninból átlagosan 30 mCi-t injektálnak vizsgálatonként, ami 6 mSv sugárdózist eredményez. A szöveti vérátfolyás-vizsgálatokat általában ¹⁵O-izotóppal jelölt víz segítségével végzik, egy-egy vizsgálat során az abszorbeált dózis 2 mSv, ha az

2004. nyár végén látott napvilágot a hír, hogy PET-centrumot szeretnének telepíteni Budapesten, Zuglóban, az Amerikai-úti Idegsebészeten. Néhány „környezetvédő” önkormányzati képviselő a polgármesterrel karöltve meg akarja akadályozni ezt, hivatkozva a PET-centrum szerves részeként felépítendő ciklotron balesetveszélyességére (KUN J. VIKTÓRIA: *PET vagy matt?* – Népszabadság, 2004. szeptember 20.). A szerkesztőség szakember véleményét kérte ki a tisztánlátás végett.

átlagosan injektált 50 mCi aktivitással számolunk. Az összehasonlítás kedvéért jegyzem meg, hogy egy-egy CT-vizsgálat során a berendezés típusától és a vizsgálati protokolltól függően a kivizsgált személyt 5–20 mSv sugárdózis éri. A PET-vizsgálattal járó kockázat megítélését segíti az is, ha figyelembe vesszük, hogy a környezetből származó, ionizáló háttérsugárzás miatti dózis 2,4 mSv/év, és a különböző mesterséges radioaktív és egyéb (röntgen, repülőút stb.) forrásokból származó sugárterhelés pedig átlagosan 1,1 mSv/év.

A PET-módszerben felhasznált, pozitronbomló radioaktív izotópok a könnyű elemek neutrondeficités nuklidjai közül kerülnek ki. Az ilyen izotópokat természetesen nem atomreaktorokban állítják elő, erre a célra ciklotronok szolgálnak. Ennek megfelelően a PET-központoknak sűrűn lakott településeken való elhelyezése sugárvédelmi szempontból viszonylag könnyen megoldható feladat. Az alacsony rendszámok miatt a radioaktív izotópokat előállító magreakciók külsőenergiája alacsony, és a megfelelő hatáskezesztmények maximumértékét már viszonylag alacsony bombázó energiák mellett el lehet érni. A PET-gyakorlatban felhasznált gyorsítók úgynevezett kompakt ciklotronok. Az alacsony energiák, valamint az egyetlen felhasználás üzemmód miatt ezeknek a berendezéseknek igen egyszerű a konstrukciója (emellett a szervizigénye is nagyon alacsony). A ^{11}C -, ^{13}N -, ^{15}O - és ^{18}F -izotópok előállítására használt, „dedikált” gyorsítók kivétel nélkül negatív ionokat gyorsítanak. Az ilyen gyorsítóknál a gyorsított részecskék belső nyálábjának a kivonásához egy lefosztó fóliát helyeznek a nyáláb útjába. A gyorsított részecskék a nagyon vékony fólián való áthaladás közben energiát alig veszítenek, de elveszítik elektronjainkat. Az eredetileg negatív töltésű részecskék nettó töltése ezután pozitív lesz, ennek megfelelően a lefosztás előtti Lorenz-erő is irányt vált, ezért a részecskék görbülete a vákuumkamrát határoló fal felé irányul. A magas (95% körüli) kihozatali hatásfok miatt a gyorsító falának a felaktíválódása csak töredékét teszi ki annak, amellyel a pozitív részecskéket gyorsító berendezéseknél számolni kell.

A gyorsító üzemeltetésével együtt járó sugárzás intenzitása nagyon erős, ezért hatékony sugárárnyékolásról kell gondoskodni. A hagyományos módszer szerint telepített ciklotronokat 1,5–2 méter falvastagságú betonbunkerben helyezik el. Alternatív lehetőséget kínál, ha a berendezést úgynevezett önárnyékoló (*self-shielded*) köpennyel veszik körül. Az ilyen megoldásnak az az előnye, hogy a bunkerek helyigényéhez képest jóval kisebb alapterületen is megoldható. A soktonnányi moderátorközeget befogadó árnyékoló elemek mozgását légpárnás megoldással szokás biztosítani. Az ilyen módon árnyékoló ciklotronokhoz ugyanakkor nehezebb hozzáférni, általában igen kicsi a hely az árnyékoló köpeny és a gyorsító között, ezért a gyorsító falára szerelt targetkamrákat, valamint az azokhoz csatlakoztatott berendezéseket lényegében csak a gyártóktól lehet beszerezni.

A debreceni PET Centrum új, kompakt ciklotronja a GE gyártmányú, PETtrace típusú berendezés. Ezzel a gyorsítóval 16,5 MeV-es protonnyalábot és 8 MeV-es deutériumnyalábot lehet előállítani. A maximális ionáramok

100 μA , illetve 50 μA . A 170 cm falvastagságú betonbunker külső oldalán mért dózisintenzitás 75 μA protonnyalábrám mellett 0,1–0,2 $\mu\text{S/h}$. Ilyen intenzitású sugárzási térben az éves háttérdózissal azonos sugárterheléshez 10–20 ezer óra (1,15–2,3 év) expozíciós idő tartozik.

A közelmúltban *Teller Ede* a Paksi Atomerőműben tett látogatásának kapcsán készített televíziós interjúban jelentette ki, hogy megfelelő biztonságtechnikai rendszerek alkalmazásával a nukleáris energia tekinthető a legtisztább, legkevésbé környezetszennyező energiatípusnak. Az állítás kétségbe vonására semmilyen ok nem létezik. Tekintetbe véve az energiatermelő reaktorokban elhelyezett, illetve felhalmozódó radioaktivitások és a PET-módszer során felhasznált radioaktivitások mennyisége közötti sok nagyságrendnyi különbséget, valamint – és ez még az előzőnél is nagyobb súlyú érv – a hasadványok és a „PET-izotópok” felezési ideje közötti akár 3–8 nagyságrendnyi különbséget, a PET-technikával kapcsolatos környezetszennyezés tényleg elhanyagolható, ha a környezetvédelmi és sugárvédelmi előírásokat betartják. Egy-egy ilyen program elindításának engedélyezéséhez a környezetvédelmi és sugárvédelmi hatóság pozitív szakhatósági hozzájárulása szükséges. E szakhatóságok által előírt feltételek között szerepel, hogy igen precíz kimutatást kell végezni az előállított radioaktivitások fajtájáról és mennyiségéről. További követelmény, hogy a környezetbe kibocsátott folyadék és légnemű radioaktív anyagok mennyiségét a ciklotront és a radiokémiai laboratóriumot magába foglaló épületben (kémények és közműhálózat), valamint az épülettől 0,5–1 km távolságban folyamatosan regisztrálni kell. Az éves emisszió maximális értékét a hatóságok határozzák meg, és rendszeresen ellenőrzik azokat.

A fenti érvek alapján bátran ki lehet jelteni, hogy a PET-technika és az ahhoz szükséges részecskegyorsító, valamint radiokémiai laboratórium a környezetre nézve elhanyagolható veszélyforrás. A pozitronemissziós tomográfia segítségével viszont olyan diagnosztikai információhoz lehet jutni, amely más módszerrel nem pótolható. A PET-módszerrel nyert adatok lehetővé teszik számos kóros folyamat nagyon korai fázisban történő diagnosztizálását. A pontos diagnosztika jelentősen hozzájárul ahhoz, hogy a leghatékonyabb terápiás eljárást lehessen alkalmazni (a PET-vizsgálatok az esetek közel egyharmadában módosítják az anélkül kiválasztott terápiás protokollt). Mindezen tényeknek, továbbá a módszer költség-hatékonyságának (a PET-re fordított költségek négyszeresen megtérülnek!) természetes következménye, hogy a PET-kamerák száma világszerte rohamosan nő. Az Egyesült Államokban 2003-ban 58%-kal nőtt az elvégzett PET-vizsgálatok száma az előző évihez viszonyítva, és így több mint 700 ezer beteg PET-vizsgálatát végezték el. Ilyen vizsgálatokat az USA-ban jelenleg több mint 1500 kórházban végeznek, és a szükséges izotópokat sok száz ciklotronnal állítják elő. A berendezéseket sűrűn lakott településeken üzemeltetik, teljes összhangban azzal, hogy az a helyi lakosság és a környezet számára számottevő kockázatot nem jelent.

Trón Lajos

Debreceni Egyetem, PET Centrum