

A debreceni kisállat PET program eredményei: a MiniPET-1, MiniPET-2 és a MiniPET-3 kamerák leképezési tulajdonságai

Lajtos Imre, Emri Miklós, Trón Lajos, Kis Sándor Attila, Opposits Gábor, Márian Teréz, Trencsényi György, Mikecz Pál, Spisák Tamás, Krizsán Áron Krisztián
Debreceni Egyetem, OEC Nukleáris Medicina Intézet

Molnár József, Hegyesi Gyula, Kalinka Gábor, Valastyán Iván, Király Bea, Balkay László
Magyar Tudományos Akadémia Atommag Kutató Intézet, Debrecen

Tanulmányunkban ismertető jelleggel mutatjuk be a debreceni kisállat PET (Pozitron Emissziós Tomográfia) program három jelentős lépcsőfokát. A kilencvenes évektől kezdve igény merült fel arra, hogy PET vizsgálatokhoz kifejlesztett radiológyszerek tesztelése során, kisállat modelleket is alkalmazzanak, ugyanis a gyógyszerkutatásokban fontos szerepet töltenek be a különböző kórképek egér és patkány modelljei. Erre a feladatra, olyan un. kisállat PET kamerákat kellett kifejleszteni, amelyek térbeli felbontása eléri az 1-2 mm-t, és érzékenységük is nagyobb. Egy ilyen irányú fejlesztés indult meg a 2000-es évek elején nagyrészt pályázati finanszírozással, több intézet és vállalat együttműködésével Debrecenben. A fejlesztések eredményeként elkészült három kisállat PET kamera. A tanulmányunkban e kamerákat és képalkotó képességüket mutatjuk be, és összehasonlítjuk azokat néhány más, a világban már használt kisállat PET rendszerrel.

In this work we present the developments of the small animal PET (Positron Emission Tomography) program in Debrecen. In the early nineties intensive developments were started worldwide for new radiopharmaceuticals to perform PET scans with small animals, because the research in the pharmaceutical manufacturing require biological models of the small animals such as rats and mice. However, human PET systems were not appropriate for small animal PET scans because of their relative poor spatial resolution (~ 4-5 mm) and low sensitivity. Thus, a number of manufacturer and research groups started to develop own small animal PET systems. At the beginning of the last decade, small animal PET system development was begun by the collaboration of universities, research institutes and companies. These projects were supported by some Hungarian and international grants. The results of these developments are the MiniPET-1, MiniPET-2, MiniPET-3 small animal PET scanners. In this study we describe the technical details and imaging performance of these innovative systems and do comparisons with some other commercial scanners.

BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

A gyógyszerkutatások során fontos szerepet töltenek be a különböző kórképek egér és patkány modelljei. E modellek alkalmazásai csökkentik a gyógyszerfejlesztés idejét és költségigényét [1]. A kilencvenes évektől kezdve felmerült az igény arra is, hogy a PET vizsgálatok számára kifejlesztett radiológyszerek teszteléséhez is kisállat modelleket alkalmazzanak. Ezen igény kielégítésére azonban nem volt alkalmas eszköz, mivel a klinikai diagnosztika céljára épített PET kamerák térbeli felbontása (~ 4-5 mm), és érzékenysége nem elegendő a kisállatok szerveinek leképezéséhez. Erre a feladatra, olyan un. kisállat PET kamerákat kellett kifejleszteni, amelyek térbeli felbontása legalább 1-2 mm, és az érzékenységük is megfelelő. A PET eszközök térbeli felbontását jelentősen befolyásolja a használt szcintillációs túrkristályok mérete és a detektorgyűrű sugara [2], ezért a kisállat PET kameráknál ezt figyelembe kell venni.

Magyarországon a kilencvenes évek elején Debrecenben indult el először humán PET program, amelyben a Debreceni Egyetem (DE) PET Centrumának munkatársai és az ATOMKI szakemberei vettek részt. 2001-ben a debreceni PET program következő lépcsőfokaként, a régióban szintén egyedülálló módon, kisállat PET kamera (MiniPET-1) tervezése és megépítése indult el egy NKFP pályázat finanszírozásával. Ebben a fejlesztésben a fenti két intézményen kívül a MEDISO Kft. és az OPTILAB Kft. vett részt. A megépített MiniPET-1 nem rendelkezett un. teljes-gyűrűs detektorrendszerrel, csupán 4 darab, 90 fokos geometriában elhelyezett (egyenként 20 x 20 db túrkristályt tartalmazó) detektor modulból állt, amelyek forgatásával lehetett a teljes gyűrűs leképezést elérni. Azonban már ennek a berendezésnek is 2.1 mm volt a térbeli felbontó képessége. Az eszköz demonstrációs célokra már alkalmas volt, de komoly biológiai és radiológyszer kutatási projektekből nem lehetett alkalmazni.

Egy 2006-ban induló újabb NKFP pályázat támogatásával és a MiniPET-1 fejlesztés tapasztalataira építve egy modern teljes detektorgyűrűs kisállat PET berendezés épült meg, ez volt a MiniPET-2. A projektben az ATOMKI és a Debreceni Egyetem a MEDISO Kft-vel együttműködve vett részt. A kamera hardveres és szoftveres fejlesztését az ATOMKI Elektronikai Osztálya és a DEOEC Nukleáris

Medicina Intézet szakemberei közösen végezték el. A kamerát 12 darab, gyűrűbe rendezett különálló detektor modul (egyenként 35 x 35 db túrkristály tartalmaznak) alkotja. A rendszer számos technikai szoftveres megoldása még napjainkban is úttörőnek számít PET területen. A rendszer úgy lett megtervezve, hogy teljes mértékben skálázható legyen, ami azt jelenti, hogy akár 24 vagy több detektoros PET kamerát is lehet építeni az ilyen típusú detektorokból.

A kétezres évek közepétől kezdve aktívan elindultak az MRI kompatibilis PET rendszerek fejlesztései. Ennek az oka az, hogy diagnosztikai szempontból előnyösnek bizonyulhat egy olyan eszköz, amelyben egy páciens PET és MRI felvételét egy mérés/leképezéssel lehetne elvégezni. Az ilyen módon nyert "kompozit" képek egyben tartalmaznak strukturális (MRI kép) és funkcionális (PET kép) információt a szövetekről. Erre a feladatra azonban a hagyományos fotoelektron-sokszorozón (PMT) alapuló PET detektorok nem alkalmasak, mert az MRI-ben használt nagy mágneses térben (1.5-3 Tesla) a PMT nem működik megfelelően. A mágneses térre érzékeny PMT feladata, hogy a szcintillátorban keletkezett fényfotonokból elektromos jelet állítson elő. Ezt az elemet kell mindenképpen megváltoztatni ahhoz, hogy MRI kompatibilis PET kamerát kapjunk. A technika jelenlegi szintjén a PMT-t vagy un. APD, vagy SiPM félvezető alapú fénydetektorra lehetne lecserélni. Az APD alkalmazásával már létezik kereskedelmi forgalomban kapható PET-MRI készülék, azonban az optimális megoldás a SiPM alkalmazása lenne. Erre irányulón a világ számos intézetében folynak kutatás-fejlesztési projektek, és egy nemzetközi pályázat segítségével (ENIAC Grant, Project no.: 120209) az ATOMKI és a Debreceni Egyetem számos további külföldi intézettel együtt egy ilyen fejlesztésben vett részt az elmúlt években. A pályázat egyik célja egy MRI kompatibilis kisállat PET kidolgozása volt. Az új kamera a harmadik debreceni kisállat PET kameraként a MiniPET-3 nevet kapta.

A tanulmányunkban e kamerákat és képalkotó képességeket mutatjuk be, és összehasonlítjuk azokat néhány más, a világban már használt kisállat PET rendszerrel. Az össze-

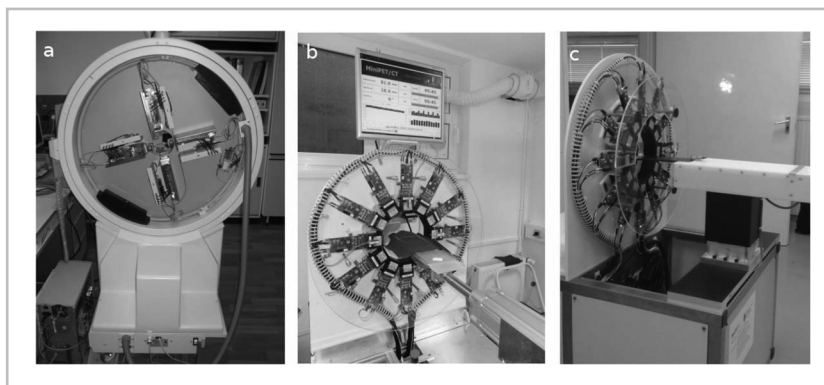
hasonlítás általános alapja egy nemzetközileg elfogadott standard vizsgálati eljárás (NEMA NU-4 2008 [4]).

A MINIPET-1 KAMERA

A MiniPET-1 kamera (1. ábra „a” panel) detektorrendszere négy detektortömböt tartalmaz, amelyek 93.6 mm átmérőjű állványra, un. gantry-re vannak felszerelve, amely forgómozgást végez a leképezés közben. Ez azonban jelentősen megnöveli az egy méréshez szükséges időt. A detektorokban egyenként 64 darab hasáb alakú (2 mm x 2 mm alap él és 10 mm magasság) szcintillációs túrkristály foglal helyet, amelyek úgy vannak összeillesztve, hogy egy szabályos 8x8-as mátrixot alkossanak. A szcintillátorok anyaga un. LSO, amely fizikai paraméterei miatt igen elterjedt a PET technikában. A kristály mátrixhoz Hamamatsu R8520-C12 típusú [7] pozíció érzékeny fotoelektron sokszorozó (PMT) csatlakozik, a két komponens között pedig az optikai csatolást szilikon alapú anyag [8] biztosítja. A PMT analóg jeleit az ATOMKI által gyártott jelfeldolgozó elektronikai egység digitalizálja, elvégzi a jelfelismerést, az energia-, valamint pozíció-azonosítást és az időbélyeg generálást. Az esemény adatokat hálózati UDP protokollal továbbítja az elektronika az adatgyűjtő szerver felé. Az így megvalósított hálózati adatgyűjtés azóta is egyedinek számít a PET technikában. A kamerához szükséges adatgyűjtő, képrekonstrukciós és képfeldolgozó programok a Nukleáris Medicina Intézet un. M31 szoftver rendszerével készültek, amelynek a fejlesztése ebben az időszakban kezdődött [5].

A MINIPET-2 KAMERA

A kamera (1. ábra „b” panel) egy 12 detektor modulból álló teljes gyűrűs PET rendszer. A detektorokban 1225 darab szcintillációs túrkristály (1,27 mm x 1,27 mm alapél és 12 mm magasság) foglal helyet, amelyek 35x35-ös mátrixba vannak rendezve. A szcintillátorok anyaga ennél a kameránál un. LYSO, amelynek fizikai paraméterei hasonlóak a MiniPET-1-ben használt LSO-val de az ára kedvezőbb. A



1. ábra
„a” panel: Az ATOMKI-ban található MiniPET-1 kamera előlnézeti képe. Látható a négy detektormodul a forgatható gantry-n. „b” panel: A MiniPET-2 kamera egy biológiai laborban működik a DEOEC Nukleáris Medicina Intézetében. „c” panel: A 2013-ra kifejlesztett MiniPET-3 kamera, amely az ATOMKI egyik laborjában található.

kristályok hasonlóan az előző kamerához itt is optikai csatoló anyaggal vannak összeillesztve, egy pozíció érzékeny PMT-vel (Hamamatsu H9500 [9]). A jelfeldolgozó elektronikát az ATOMKI szakemberei továbbfejlesztették, és úgy alakították át, hogy egy ún. FPGA chipben egy PPC alapú, beágyazott Linux környezetet foglaljon magába. Ez a rendszer biztosítja, hogy a detektorok teljes értékű számítógépként érhetőek el hálózaton keresztül, szabványos hálózati protokollok szerinti kommunikációra képesek, és a detektormodulokon, mint számítógépeken, saját fejlesztésű kommunikációs és adatgyűjtő programokat lehet futtatni. Tehát ebben az esetben is a korszerű hálózati adatgyűjtési módszer a működés alapja.

A kamera működéséhez elengedhetetlen volt az adatgyűjtő, képrekonstrukciós és képfeldolgozó programok továbbfejlesztése, amelyek a Nukleáris Medicina Intézet M31 szoftver rendszerével voltak megvalósíthatóak. Így elkészültek azok a programok, amelyekkel a dinamikus vizsgálatok, egésztest leképezések, és a képek kvantitatív elemzése megvalósíthatóak lettek. A kamera ezzel a modern szoftveres környezettel, és a kedvező technikai paramétereinek alapján alkalmasnak bizonyult a biológiai kutatásokra, és már számos projekt keretein belül bizonyította is ezt.

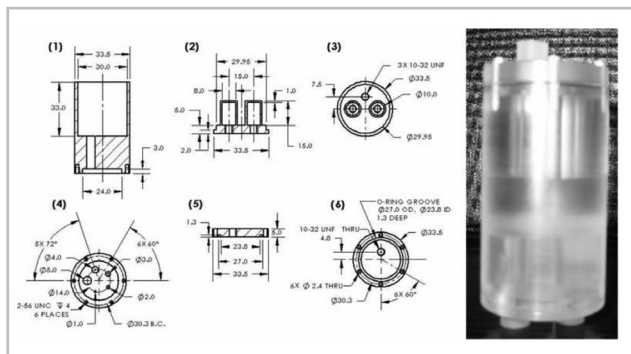
A MINIPET-3 KAMERA

A 3-as sorozatszámú kamera (1. ábra „c” panel) megépítése során egyértelmű cél volt, hogy a lehető legkisebb mértékben változzanak a rendszer geometriai, fizikai és elektronikai paramétereinek, kivéve a fényfotonokat érzékelő PMT modulokat. Ezért a MiniPET-3 kristálméretei és azok összeillesztése teljesen megegyezik az elődjében használtakkal. Azonban a kristálmátrixból érkező fény fotonokat nem hagyományos PMT-vel detektálja, hanem SiPM-vel, amelyek működését nem befolyásolja a nagy mágneses tér. A SiPM alkalmazása során számos technikai problémát meg kellett oldani az ATOMKI szakembereinek, mint például az új logikájú pozíció-azonosítást, és a magasabb zajszint miatti technikai kérdéseket.

A NEMA NU-4 SZABVÁNY

A NEMA NU-4 szabvány [4] egy sztenderd vizsgálati protokoll gyűjtemény, amelynek a segítségével kiszámolt paraméterek jól jellemeznek egy kisállat PET kamerát és ezek a paraméterek összehasonlíthatóak más rendszerekkel. Az előírás a kamerák teljesítményét többek között a kamera térbeli felbontásával, az érzékenységgel, a terhelhetőségével és speciális, a képminőséget jellemző értékekkel jellemzi [4]. Ezen értékek meghatározása egy olyan fantom mérés segítségével történik (NEMA IQ fantom, 2. ábra) amellyel kiszámolhatók az uniformitás, a spillover hányad, és az aktivitás visszaállítási paraméterek. A NEMA NU-4 előírás által leírt mérések és a belőlük számolandó paraméterek a 4-es referenciában részletesen megtalálhatóak. A NEMA NU-4 szabványban leírt méréseket a MiniPET-2 és 3

kamerákon végeztük el és e paraméterek alapján hasonlítottuk össze három kereskedelemben kapható kamerával (1. táblázat), amelyek név szerint: nanoScan PC [12] (a MEDISO Kft. kisállat PET kamerája), Siemens Inveon [10], és az Argus [11].



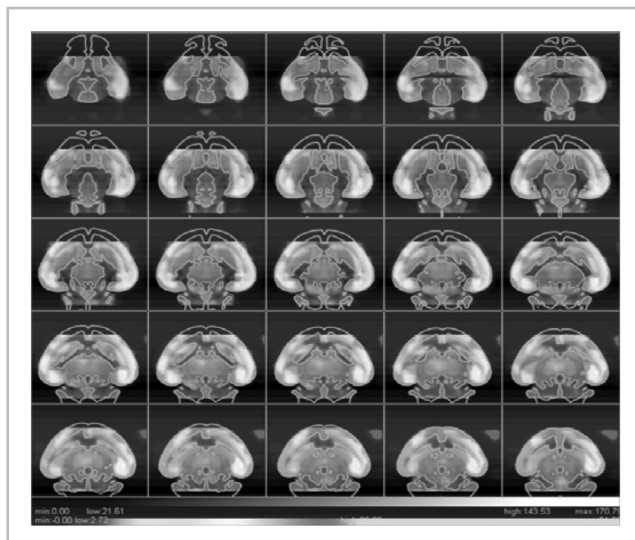
2. ábra
A NEMA-NU-4 szabvány által definiált képminőség fantom

A MINIPET KAMERÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

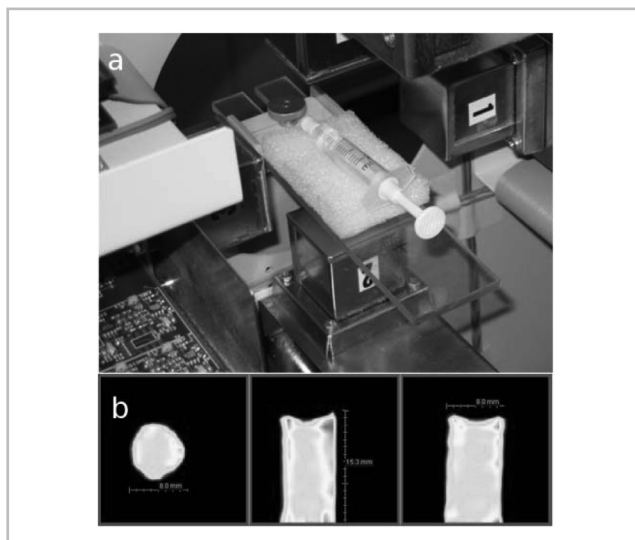
Az 1. táblázat a három debreceni és három további, a kereskedelemben kapható kisállat PET rendszer fontosabb fizikai és leképzési paramétereit, valamint néhány a NEMA szabvány szerint meghatározott jósági paraméterét mutatja be.

A MiniPET-1 kamera paramétereit a táblázatban felsorolt további öt rendszerrel lényegesen gyengébbek, azonban fontosabb működési jellemzői közül érdemes megemlíteni a 2.1 mm-es térbeli felbontást és az érzékenységet, amely 0.3%. A MiniPET-1 terhelhetősége is szerény (amit a NEC csúcs paraméterek jellemeznek), hiszen a rendszer nem működik optimálisan már viszonylag kisebb injektált aktivitás mellett sem. Átlagosan egy egérbe 4-8 MBq (patkányba ennek a kétszerese) aktivitású radiofarmakont fecskendeznek, azonban ez a kamera már 6 MBq aktivitásnál eléri az adatfeldolgozási képességének maximumát, más szóval lebénulnak a detektorai. A leképezéshez szükséges forgatás, és a viszonylag kisméretű axiális látómező (17 mm) miatt a kamerát demonstrációs célra lehet főleg használni. A 3. ábrán egy a MiniPET-1 kamerával készült biológiai próbamérés, a 4. ábrán egy homogén fantom mérés eredményét láthatjuk.

Összehasonlítva a MiniPET-2 és MiniPET-3 kamerák felbontás adatait a nanoScan PC, Siemens Inveon és az Argus megfelelő adataival látható, hogy csak a nanoScan PC rendelkezik jobb értékkel. Továbbá megfigyelhető, hogy a felbontás a kristálmérettel erős korrelációt mutat, ami a PET leképezési technika sajátosságai alapján várható is. Az érzékenységi paramétereket vizsgálva látható, hogy a MiniPET kamerák kisebb érzékenységek, ami részben a relatíve kis axiális látóterüknek köszönhető. A NEC csúcs paraméterek, amelyek a terhelhetőségről adnak információt, kissé elmaradnak az összehasonlításban szereplő másik három szkennertől. Azonban, az eddigi kísérleti tapasztala-



3. ábra
MiniPET-1 kamerával készült 18F-FDG akkumulációs, patkány agy vizsgálát. Az axiális metszeti képek, un. digitális agyatlasszal vannak együtt ábrázolva.

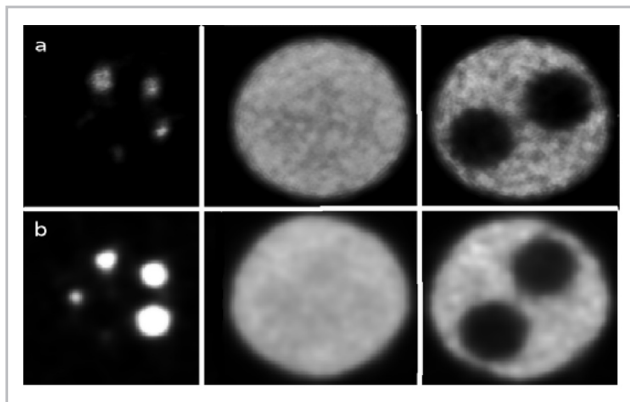


4. ábra
FDG-vel feltöltött 2 ml-es fecskendő a MiniPET-1 kamerában ("a" panel) és a róla készült rekonstruált kép ("b" panel).

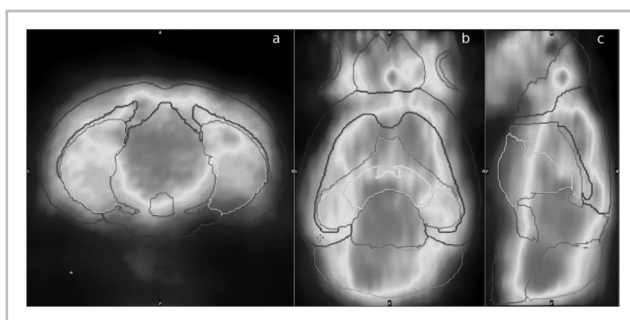
latok alapján azt lehet mondani, hogy az átlagos patkány és egér vizsgálatokhoz ez a terhelhetőség elegendő, ugyanis egy patkány leképezés során 30 MBq az állatba injektált maximális aktivitás. A kamerák képalkotási paraméterei egy fantomméressel (NEMA IQ fantom) is vizsgálhatóak. Az aktivitással feltöltött fantomról készített PET képből ki lehet számolni az uniformitás paramétert. A MiniPET-2 és 3 kamerák esetében megfigyelhető, hogy ez a paraméter jobb a 3. kamera esetében, és e paraméter alapján a táblázatban feltüntetett kamerákhoz képest is jónak mondhatók.

Az 5. ábrán a NEMA IQ fantomról készült PET felvétel három jellemző axiális szeletét láthatjuk a MiniPET-2 és 3 kamerák esetén. Megfigyelhető, hogy a képminőség jelentősen nem változott annak ellenére, hogy a kamerák detek-

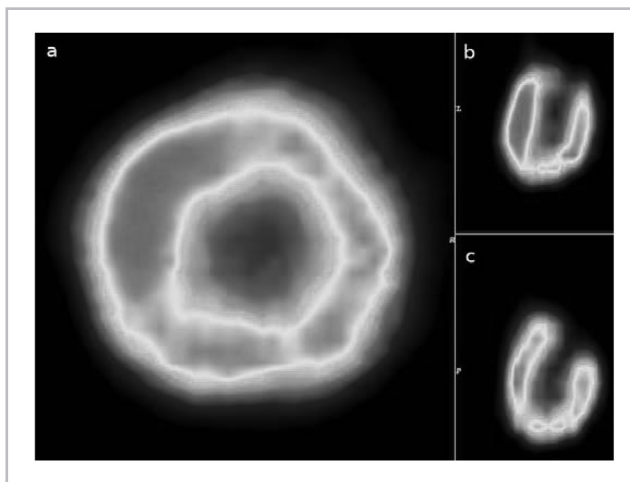
toraiban lényeges eltérés van. Például a spillover-t nézve mondható el, hogy egyedül a nanoScanPC rendelkezik kedvezőbb értékkel. Ez hasonlóan elmondható az aktivitás visszaállítási paraméterről is, azonban a MiniPET-3 megfelelő paramétere a legjobb ebben az összehasonlításban.



5. ábra
A NEMA képminőség fantomról készített PET felvétel reprezentatív un axiális szelet képei. Az "a" sorban a MiniPET-2-vel a "b" sorban a MiniPET-3 al készített kép látható. Rekonstrukció paraméterei: ML-EM 20 iteráció, voxelméret: 0,3 x 0,3 x 1,34 mm³



6. ábra
A MiniPET-2 kamerával készült 18F-FDG akkumulációs, patkány agy vizsgálát. A metszeti képek, un. digitális agyatlasszal vannak együtt ábrázolva (a: axiális, b: szagittális, c, koronális metszet).



7. ábra
A MiniPET-2 kamerával készült 18F-FDG akkumulációs, patkány mellkas vizsgálát, amelyből a szív van a képeken kiemelve. A metszeti képek elnevezései: a: axiális, b: szagittális, c, koronális.

A MiniPET-2 kamerával már számos biológiai kutatásban végeztünk vizsgálatokat és a tapasztalat azt mutatja, hogy minden szempontból megfelelő az egér és patkány méretű laboratóriumi állatok PET vizsgálatára. A 6. és a 7. ábra paneljein egy patkány agy (6. ábra) és egy patkány szív (7. ábra) MiniPET-2-vel szkennelt PET képe látható.

ÖSSZEGZÉS

A debreceni MiniPET projekt a 2000-es évek elejétől dinamikus fejlődésen ment keresztül, melynek eredményeként megépültek az orvosbiológiai vizsgálatok számára is

alkalmas kisállat PET kamerák. Továbbá a projekt során Debrecenben létrejött egy olyan, PET technikával foglalkozó kutatás-fejlesztési szakértői csoport, amely sikeres nemzetközi pályázatokban is részt tud venni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány nem jöhetett volna létre a következő pályázatok támogatása nélkül: ENIAC grant of „Central Nervous System Imaging” (Project no.: 120209) and the European Union and the European Social Funds (TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 and TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0010).

	MiniPET-1	MiniPET-2	MiniPET-3	nanoScan PC	Siemens Inveon	Argus (korábban GE Explorer Vista)
Detektorgyűrű átmérő [mm]	84	211	211	181	161	118
Axiális látótér [mm]	17	48	48	94.8	127	48
Kristály méret (mm ³)	2x2x10	1.27x1.27x12	1.27x1.27x12	1,12x1,12x13	1,51x1,51x10	1,45x1,45x7 (LYSO),1,45x1,45x8 (GSO)
Kristály/detektor	8x8	35x35	35x35	81x39	20x20	13x13
Kristály anyag	LSO	LYSO	LYSO	LYSO	LSO	LYSO és GSO két rétegbe rendezve
Térbeli felbontás a centrumban [mm]	2.1	1.2	1.2	1.1	1.45	1.4
Érzékenység a centrumban	0,3%	1.4%	1.4%	7.7	6.72	4%
uniformitás	Nincs adat	7.1	5,8	8	5.29	7.7
Spillover arány ¹	Nincs adat	0.14	0.14	0.08	0.14	0.18
Aktivitás visszaállítási arány ²	Nincs adat	0.73	0.87	0.81	0.72	0.61
NEC csúcs	1.1 keps (6MBq)	14.2 keps (36 MBq)	24 keps (43 MBq)	130 keps (27 MBq)	590 keps (110 MBq)	65 keps (70 MBq) ³
Szórt események százalékos hányada ⁴	Nincs adat	27.7 %	23%	30 %	12%	37%

¹ A NEMA IQ fantom az üres tartályának képéből számolva [4]

² A NEMA IQ fantom 3 mm-es rúdjának képéből számolva [4]

³ A kamera adatait leíró közlemény számszerűen nem taglalja ezt a paramétert de az ábrától ez az érték olvasható le.

⁴ A NEC és a szórt események hányada a NEMA-NU4 által definiált patkány fantommal mért adatok [4]

1. táblázat

A MiniPET-1, MiniPET-2, MiniPET-3 kamerák technikai- és működési paramétereinek összehasonlítása, a kereskedelmi forgalomban elérhető kamerák adataival.

RÖVIDÍTÉS JEGYZÉK

PET:	Pozitron Emissziós Tomográfia	APD:	Avalanche photodiode
ATOMKI:	Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézet, Debrecen	SiPM:	Silicon Photomultiplier
NKFP:	Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Programokban	NEMA:	National Electrical Manufacturers Association
DEOEC:	Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum	LSO:	cériummal szennyezett lutécium-ortoszilikát
MRI:	Magnetic resonance imaging	LYSO:	cériummal szennyezett lutécium-itriumortoszilikát
PMT:	Fotoelektron-sokszorozó	M3I:	Multi Medical Imaging
		FPGA:	Field-programmable gate array

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kis Sándor Attila: Perklinikai vizsgálatokat szolgáló MiniPET kamera működési paramétereinek analízise Monte-Carlo szimulációs módszerrel, Egyetemi doktori értekezés, Debreceni Egyetem Molekuláris Orvostudományi Doktori Iskola, 2010
- [2] M.E. Phelps: PET: Physics, instrumentation and scanners. Springer, New York, 2006, pp. 42–43.
- [3] Lajtos I, Emri M, Kis SA, Opposits G, Potari N, Kiraly B, Nagy F, Tron L, Balkay L: Performance evaluation and optimization of the MiniPET-II scanner, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A, 2013, 707,26-34.
- [4] National Electrical Manufacturers Association. NEMA Standards Publication NU 4-2008. Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association; 2008. Performance measurements of small animal positron emission tomographs.
- [5] M3I: www.minipetct.com/, 2013
- [6] Hegyesi G., Imrek J., Kalinka G., Molnar J., Novak D., Vegh J., Balkay L., Emri, M., Kis S. A., Molnar, G., Tron L., Valastyan I., Bagamery I., Bukki T., Rozsa S., Szabo Z., Kerek A.: Ethernet based distributed data acquisition system for a small animal PET, IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, 2006, 53, 2112-2117
- [7] <http://sales.hamamatsu.com/en/products/electron-tube-division/detectors/photomultiplier-tubes/part-r8520-00-c12.php>
- [8] <http://www.precisionconverting.com/optical.htm>, 2013
- [9] http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-etd/pd002/pd394/H9500/index_en.htm, 2013
- [10] Q. Bao, D. Newport, M. Chen, et al.: Performance evaluation of the Inveon dedicated PET preclinical tomograph based on the NEMA NU-4 standards, JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE, 2009, 50, 401-408.
- [11] F. Zagni, D. D'Ambrosio, A.E. Spinelli, G. Cicoria, S. Fanti, M. Marengo: Accurate modeling of a DOI capable small animal PET scanner using GATE, APPLIED RADIATION AND ISOTOPES, 2013, 75, 105–114
- [12] Istvan Szanda, Jane Mackewn, Gergely Patay, Peter Major, Kavitha Sunassee, Gregory E Mullen, Gabor Nemeth, York Haemisch, Philip J Blower, Paul K Marsden: National Electrical Manufacturers Association NU-4 performance evaluation of the PET component of the NanoPET/CT preclinical PET/CT scanner, JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE, 2011, 52, 1741-1747

A SZERZŐ BEMUTATÁSA



lalkozni, először egy TDK majd később egy diplomamunka

Lajtos Imre a középiskola elvégzése után a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar fizikus szakján folytatta tanulmányait, amelyet 2009-ben sikeresen be is fejezett. Az egyetemi képzés utolsó másfél évében kezdett az orvosi képalkotó módszerek fizikájával, és ezen belül főként a pozitron emissziós tomográfiával (PET) foglalkozni, először egy TDK majd később egy diplomamunka

keretein belül. A sikeres államvizsga után jelentkezett a Debreceni Egyetem Molekuláris Orvostudományi Doktori Iskolába, ahova sikeres felvételt is nyert. Témavezetője Dr. Balkay László lett, akivel már korábban a diplomamunkájában is együtt dolgoztak. A PhD munkáját a DEOEC Nukleáris Medicina Intézetében kezdhette meg. A doktori program során számos tudományos kutatást folytattak az orvosi képalkotás területén. A debreceni PET program aktív szereplője. A PhD fokozatot jövő év elején szeretné megszerezni.