



Přehledový článek | Review article

Kadmium-zinek-telluridové SPECT kamery – nové perspektivy nukleární kardiologie

(Cadmium–zinc–telluride SPECT scanners – New perspectives in nuclear cardiology)

Vladimír Kincl^{a,b}, Adéla Drozdová^{a,b}, Jiří Vašina^{a,c}, Roman Panovský^{a,b}, Milan Kamínek^{a,d}

^a Mezinárodní centrum klinického výzkumu, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, Brno, Česká republika

^b I. interní kardiologická klinika, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, Brno, Česká republika

^c Oddělení nukleární medicíny, Masarykův onkologický ústav, Brno, Česká republika

^d Klinika nukleární medicíny, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice Olomouc, Olomouc, Česká republika

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Došel do redakce: 8. 12. 2014

Přepřacován: 2. 1. 2015

Přijat: 4. 1. 2015

Dostupný online: 7. 2. 2015

Klíčová slova:

Kadmium-zinek-tellurid

Nukleární kardiologie

SPECT

Srdeční perfuze

Srdeční zobrazování

Keywords:

Cadmium–zinc–telluride

Cardiac imaging

Myocardial perfusion

Nuclear cardiology

SPECT

SOUHRN

Nukleární kardiologie je jednou z nejdůležitějších neinvazivních metod zobrazení srdce. Umožňuje primárně funkční hodnocení srdce s kvantifikací perfuze a systolické funkce. Vývoj nových typů přístrojů pro nukleární kardiologii přináší nové možnosti ve výzkumu a klinické praxi. Tento článek popisuje stručný přehled některých aplikací kadmium-zinek-telluridových (CZT) kamer ve srovnání s konvenčními přístroji.

© 2015, ČKS. Published by Elsevier Sp. z o.o. All rights reserved.

ABSTRACT

Nuclear cardiology is one of the most important non-invasive imaging methods in cardiac imaging. It makes possible primarily functional assessment of the heart with quantification of perfusion and systolic function. Development of new types of scanners for nuclear cardiology brings more possibilities in research and clinical practice. This paper describes a brief review of some applications of cadmium–zinc–telluride (CZT) scanners in comparison with conventional cameras.

Adresa: MUDr. Vladimír Kincl, Ph.D., I. interní kardiologická klinika, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, Pekařská 53, 656 91 Brno, e-mail: vladimir.kincl@fnusa.cz

DOI: 10.1016/j.crvasa.2015.01.001

Úvod

Nukleární kardiologie je zavedenou a dobře ověřenou metodou v neinvazivním srdečním zobrazování. Její senzitivita a specifita pro diagnózu myokardiální ischemie a hodnocení viability byla popsána v mnoha studiích [1–4]. Po několik dekád byly přístroje pro jednofotonovou emisní výpočetní tomografii (SPECT) používány pro srdeční zobrazování stejně jako pro ostatní vyšetření v nukleární medicíně. Konvenční typ kamery (obr. 1) obsahuje scintilační detektor používající krystal jodidu sodného aktivovaného thalliem (NaI[Tl]). Pracuje na principu luminiscence, kdy dopad fotonu záření gama na NaI[Tl] krystal způsobí záblesk viditelného světla. Tento záblesk je detekován fotonásobičem, zesílen a transformován na elektrický signál. Průměrné prostorové rozlišení scintilačních kamer je kolem 1–2 cm a akviziční čas vyšetření kolísá mezi 10 a 20 minutami podle podané dávky radiofarmaka. Kadmium-zinek-telluridové (CZT) SPECT kamery byly zavedeny v první dekádě 21. století [5]. Kadmium-zinek-telluridový detektor pracuje jako polovodič s přímou konverzí záření gama na elektrický signál. Tento mechanismus má za následek lepší prostorové rozlišení a citlivost, což znamená nižší podanou dávku radiofarmaka anebo kratší akviziční čas. Jeden z nejčastěji používaných systémů je D-SPECT (Spectrum Dynamics, Haifa, Izrael), který používá „pixelové“ detektorové uspořádání v devíti vertikálních sloupcích zabudovaných v gantry tvarované do úhlu 90°. Kolimátor s paralelními otvory a vysokou citlivostí je vyroben z titanu. Další komerčně dostupnou CZT kamerou je Discovery 530c (samostatný SPECT přístroj – obr. 2) nebo 570c (hybridní SPECT/CT) vyráběné firmou GE Healthcare (Haifa, Izrael). Tento systém je založen na multi-pin-hole kolimátoru a rovněž 90° uspořádání 19 detektorů. Prostorové rozlišení bylo popsáno lepší u GE Discovery (6,7 vs. 8,6 mm), citlivost impulsů je vyšší u D-SPECT (850 vs. 460 impulsů za sekundu na 1 MBq). Oba parametry jsou lepší než průměrné hodnoty pro konvenční SPECT přístroje (15,3 mm prostorové rozlišení a senzitivita 130 impulsů za sekundu na 1 MBq) [6]. Tento článek přináší stručný přehled dříve publikovaných studií s CZT SPECT přístroji.

Redukce radiační zátěže

Snižování radiačních dávek je v současnosti jedním z nejdůležitějších cílů u diagnostických výkonů. I když metody nukleární medicíny nejsou hlavním zdrojem radiační zátěže v lékařské péči ve srovnání např. s výpočetní tomografií, redukce podané dávky radiofarmaka je prospěšná pro pacienta i pro vyšetřující personál na nukleární kardiologii. První klinické zkušenosti s CZT kamerou a redukcí radiační zátěže popsali Duvall a spol. [7]. Autoři retrospektivně analyzovali 717 pacientů vyšetřených na přístroji GE Discovery 530c. Vyšetření byla provedena během čtyř měsíců a pacienti byli rozděleni do tří skupin: pouze zátěžový protokol s vysokou dávkou, pouze zátěžový protokol s nízkou dávkou a protokol klid-zátěž se standardní dávkou radiofarmaka. Nízká aplikovaná aktivita pro zátěžový protokol byla průměrně 462,5 MBq, vyšší aktivita pro zátěžový protokol byla 925–1 332 MBq dle váhy



Obr. 1 – Konvenční dvoudetektorová SPECT kamera (Discovery NM 630, GE Healthcare)



Obr. 2 – CZT kamera s 90° obloukem detektorů (Discovery 530c, GE Healthcare)

pacienta. Pro plný protokol klid-zátěž byla klidová (nižší) aktivita v rozsahu 296–481 MBq, přizpůsobeno rovněž dle váhy pacienta. Podaná aktivita byla redukována o 70 % u nízkodávkového zátěžového a o 30 % u zátěžového protokolu s vyšší dávkou v porovnání s obvykle užívanými dávkami. To mělo za následek i nižší průměrné efektivní dávky – 4,2 mSv, 8,0 mSv a 11,8 mSv pro nízkodávkový zátěžový, vysokodávkový zátěžový a plný protokol klid-zátěž. Kvalita obrazů byla hodnocena jako dobrá nebo výborná ve více než 90 % ve všech skupinách. V další studii bylo prokázáno, že zkracování nahrávacího času s nízkou aktivitou neovlivňuje kvalitu zobrazení a diagnostickou přesnost ve srovnání se scintilační kamerou [8]. Časy vyšetření byly pět a osm minut pro klidové zobrazení, tři a pět minut pro zátěžové zobrazení na CZT kameře a 15 minut pro zátěžové zobrazení na konvenčním SPECT. Nebyl zjištěn žádný významný rozdíl mezi průměrnou velikostí perfuzního defektu, ejekční frakcí nebo objemy levé komory měřeními při kratším nebo delším vyšetřovacím čase na CZT kameře a mezi CZT a konvenční kamerou. Obrazy získané CZT SPECT kamerou měly podstatně lepší kvalitu i přes kratší čas a nižší celkový počet impulsů zaznamenaný kamerou. Radiační zátěž u protokolu klid-zátěž byla téměř o polovinu nižší než u konvenčního protokolu s ^{99m}Tc -sestamibi. Také ultranízkodávkový protokol (s radiační dávkou kolem 1 mSv) ukázal dobrou korelaci mezi kvalitou zobrazení, ejekční frakcí a velikostí perfuzního defektu zobrazených na konvenční a CZT kameře [9].

Diagnostika ischemické choroby srdeční

Invazivní koronarografie je považována za „zlatý standard“ v diagnostice ischemické choroby srdeční (ICHS). Konvenční SPECT systémy prokázaly dobrou senzitivitu a specifitu v mnoha studiích, s hodnotami kolem 73–92 % pro senzitivitu a 63–87 % pro specifitu [10]. Srovnání perfuzního vyšetření myokardu s použitím CZT SPECT a invazivní koronarografie ukázalo více než 90% senzitivitu pro detekci $\geq 70\%$ stenózy koronární tepny [11]. Specifita byla nižší, z důvodu výběru pacientů odesílaných dále na koronarografii, a pohybovala se mezi 36,9–55,6 % a diagnostická přesnost byla mezi 68,7 a 71,6 %. Lepších výsledků může být dosaženo s použitím hybridního zobrazení (SPECT/CT) a korekce na zeslabení [12]. To může zlepšit kvalitu obrazů zejména u obézních pacientů, a publikovaná senzitivita, specifita, pozitivní a negativní prediktivní hodnota a diagnostická přesnost byly 87, 67, 92, 53 a 83 %. Hodnocení specifity SPECT je problematické, protože pacienti s negativním vyšetřením perfuze myokardu většinou nejsou odesíláni na koronarografii. Některé studie predikují senzitivitu a specifitu z „normalcy rate“ ve skupinách s velmi nízkou předtestovou pravděpodobností ICHS, avšak současné guidelines pro diagnostiku a léčbu ICHS nedoporučují zátěžové radionuklidové vyšetření u pacientů s velmi nízkou předtestovou pravděpodobností ($< 15\%$). Navíc, vyšší senzitivita a lepší prostorové rozlišení může vést k zobrazení menších nezávažných perfuzních defektů způsobených endoteliální dysfunkcí u pacientů bez významné stenózy epikardiálního úseku koronární tepny, což může dále ovlivnit specifitu CZT kamer [12]. Vyšetření funkce a ob-

jemů levé komory je rovněž přesnější s použitím CZT kamery ve srovnání s konvenčními přístroji [13]. Použití koronarografie jako referenční metody může způsobit další nepřesnosti, neboť jde o srovnání anatomické a funkční zobrazovací metody. Stanovení frakční průtokové rezervy (FFR) může poskytnout přesnější informace o významnosti stenózy a tato metoda byla použita ve studii Moudena a spol. [14] ve skupině pacientů se středně významnou stenózou koronární tepny (40–80 %). Hraniční hodnota frakční průtokové rezervy (FFR) $< 0,75$ byla stanovena jako abnormální. Vyšetření myokardiální perfuze s použitím CZT kamery ukázalo ischemii u 31 %, FFR byla $< 0,75$ u 20 %, a pacienti s pozitivním SPECT vyšetřením měli významně nižší FFR. Shoda mezi SPECT a FFR byla 73%, 8 % SPECT vyšetření bylo falešně negativních, 19 % falešně pozitivních. Výhoda CZT technologie byla také prezentována u pacientů s postižením více koronárních tepen. V práci Gimelliho a spol. [15] CZT SPECT u pacientů s onemocněním dvou nebo tří koronárních tepen identifikoval správně všechny koronární stenózy u 17 pacientů z 20 oproti 6 pacientům u konvenčního SPECT, a tedy použití CZT přístrojů je výhodnější u těchto pacientů z důvodu lepší senzitivity.

Zobrazení sympatické inervace srdce

Přínos hodnocení sympatické inervace myokardu s použitím ^{123}I -metaiodobenzyl (MIBG) bylo publikováno v několika článcích [16–18], ale všechny tyto studie byly provedeny na scintilačních gama kamerách. Nejčastěji užívané parametry byly poměr srdce/mediastinum (H/M ratio) a rychlost vyplavování MIBG z myokardu. První zkušenosti s použitím CZT kamer v zobrazení srdeční sympatické inervace popsali Gimelli a spol. [19]. Autoři použili MIBG defekt – skóre, vypočítané ze 17segmentového modelu levé komory a na pětibodové stupnici (0 = normální vychytávání, 4 = absence vychytávání radiofarmaka), a hodnocení segmentární akumulace radiofarmaka jako procentuální hodnotu maximálního vychytávání. Navíc hodnotili i mechanickou dyssynchronii levé komory s použitím měření regionálního času do maximální kontrakce (time-to-peak contraction, TTP). Regionální TTP je čas do maxima kontrakce srdeční stěny vyjádřený v procentech srdečního cyklu [20]. Tato práce ukázala nezávislou asociaci mezi regionálním vychytáváním MIBG a dyssynchronií levé komory, pacienti s přítomností dyssynchronie měli vyšší průměrné časné MIBG defekt skóre (29 vs. 18, $p = 0,014$) a autoři soudí, že toto reprezentuje významný vztah mezi synchronií myokardiální kontrakce a stupněm sympatické denervace. Také přímé srovnání mezi akumulací MIBG a myokardiální perfuzí hodnocené pomocí SPECT vyšetření s ^{99m}Tc tetrofosminem potvrdilo vztah mezi sníženou sympatickou inervací a perfuzními defekty vyjádřenými jako sumární klidové skóre [21].

Další aplikace

Jeden z hlavních problémů perfuzního SPECT je to, že ukazuje pouze relativní perfuzi. To může mít za následek diagnostické nepřesnosti u pacientů s mnohočetnými ste-

nózami koronárních tepen, např. s balancovanou nemocí tří tepen. Rychlá akvizice dat u CTZ přístrojů umožňuje hodnocení myokardiální perfuzní rezervy v klidu a během vasodilatační zátěže. Ben-Haim a spol. [22] popsali experimentální protokol s použitím dynamického SPECT zobrazení nahrávaného v klidu a poté během farmakologické zátěže při tzv. list-mode akvizici. Po nahrání dynamických obrazů byly nahrány i standardní klidové a zátěžové snímky. Z dynamických snímků byly získány regionální křivky a celkové aktivity a následně byl vypočítán index myokardiální perfuzní rezervy (MPR) jako poměr mezi zátěžovými a klidovými hodnotami. Pacienti s normálními perfuzními skeny měli vyšší MPR index (1,61 vs. 1,27, $p = 0,0002$). Při regionální analýze teritoria koronárních tepen s abnormálním celkovým perfuzním defektem (total perfusion deficit, TPD) $\geq 5\%$ počítaným pomocí softwaru, QPS měly nižší MPR index (1,27 vs. 1,45, $p = 0,003$) a významný vztah mezi regionální TPD a MPR indexem byl potvrzen i s použitím multivariální analýzy. CZT technologie také přináší nové možnosti při použití dvouizotopového vyšetření. Ve studii s 214 pacienty [23], zátěžové vyšetření s 201-thalliem a klidové s ^{99m}Tc -techneciem prokázalo senzitivitu 94 %, specifitu 50 % (při užití „normalcy rate“ 92%) a diagnostickou přesnost 83 %, s udávanou průměrnou efektivní dávkou 12 ± 9 mSv. Autoři prezentovali výhody dvouizotopového vyšetření, jako je lepší extrakční frakce thallia, která zlepšuje detekci ischemie myokardu. Zkracování vyšetřovacího času (celý protokol zátěž-klid v této studii byl proveden během jedné hodiny) může vést k vyšší průchodnosti pacientů na oddělení nukleární kardiologie a lepšímu využití CZT kamery. Radionuklidová ventrikulografie může být také prováděna na CZT SPECT kamerách. Jensen a spol. [13] popsali lepší inter- a intraobservační variabilitu u hodnocení ejekční frakce levé komory s použitím CZT SPECT oproti konvenční planární nebo SPECT kameře. Průměrné hodnoty ejekční frakce LK získané konvenčním SPECT přístrojem byly signifikantně vyšší než hodnoty z planární nebo CZT kamery. Toto bylo způsobeno vyššími end-diastolickými objemy měřenými konvenční SPECT kamerou, kdy se ovšem end-systolické objemy významně nelišily. Tyto nálezy byly rovněž potvrzeny v další studii [24], ale autoři také zmiňovali limitace těchto systémů – např. menší zobrazovací pole (FOV) s přibližně 19cm průměrem [25], a u podskupiny obézních pacientů není možné dosáhnout dobré polohy srdce v FOV, takže použití CZT přístrojů u těchto pacientů není doporučeno. Je nutno zmínit také ekonomické otázky, protože pořizovací cena CZT kamery může být téměř dvojnásobná proti konvenčním přístrojům (s ohledem na daňové sazby v jednotlivých zemích), takže CZT SPECT kamera je užitečná zejména ve větších centrech s vysokým počtem vyšetřených pacientů.

Závěr

Kadmium-zinek-telluridové SPECT kamery přinášejí nové možnosti do neinvazivního kardiologického funkčního zobrazování a data z předchozích studií jsou velmi nadějná. Přesto je nutné zmínit některá úskalí jako vyšší pořizovací náklady, menší vyšetřovací pole a nedostatek dat o skutečné specifitě z důvodů výběru pacientů následně odesílaných na invazivní koronarografii. I když užití inva-

zivní koronarografie jako referenční metody je problematické, neboť jde nikoliv o funkční, ale o anatomickou metodu, a tedy spíše hodnocení koronární stenózy pomocí FFR je lepší ke srovnání s výsledky zobrazení perfuze myokardu.

Prohlášení autorů o možném střetu zájmů

Střet zájmů není deklarován.

Financování

Práce byla podpořena Evropským fondem pro regionální rozvoj – Projekt FNUSA-ICRC (No. CZ.1.05/1.1.00/02.0123).

Prohlášení autorů o etických aspektech publikace

Autoři tímto prohlašují, že tento článek byl napsán v souladu s etickými zásadami.

Literatura

- [1] M.H. Heijenbrok-Kal, K.E. Fleischmann, M.G. Hunink, Stress echocardiography, stress single-photon-emission computed tomography and electron beam computed tomography for the assessment of coronary artery disease: a meta-analysis of diagnostic performance, *American Heart Journal* 154 (2007) 415–423.
- [2] B.A. Mc Ardle, T.F. Dowsley, R.A. de Kemp, et al., Does rubidium-82 PET have superior accuracy to SPECT perfusion imaging for the diagnosis of obstructive coronary disease? A systematic review and meta-analysis, *Journal of the American College of Cardiology* 60 (2012) 1828–1837.
- [3] M.C. de Jong, T.S. Genders, R.J. van Geuns, et al., Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis, *European Radiology* 22 (2012) 1881–1895.
- [4] J.P. Higgins, G. Williams, J.S. Nagel, J.A. Higgins, Left bundle-branch block artifact on single photon emission computed tomography with technetium Tc 99m (Tc-99m) agents: mechanisms and a method to decrease false-positive interpretations, *American Heart Journal* 152 (2006) 619–626.
- [5] P.J. Slomka, J.A. Patton, D.S. Berman, G. Germano, Advances in technical aspects of myocardial perfusion SPECT imaging, *Journal of Nuclear Cardiology* 16 (2) (2009) 255–276.
- [6] L. Imbert, S. Poussier, P.R. Franken, et al., Compared performance of high-sensitivity cameras dedicated to myocardial perfusion SPECT: a comprehensive analysis of phantom and human images, *Journal of Nuclear Medicine* 53 (2012) 1897–1903.
- [7] W.L. Duvall, L.B. Croft, T. Godiwala, et al., Reduced isotope dose with rapid SPECT MPI imaging: initial experience with a CZT SPECT camera, *Journal of Nuclear Cardiology* 17 (2010) 1009–1014.
- [8] W.L. Duvall, L.B. Croft, E.S. Ginsberg, et al., Reduced isotope dose and imaging time with a high-efficiency CZT SPECT camera, *Journal of Nuclear Cardiology* 18 (2011) 847–857.
- [9] A.J. Einstein, R. Blankstein, H. Andrews, et al., Comparison of image quality, myocardial perfusion, and left ventricular function between standard imaging and single injection ultra-low-dose imaging using a high-efficiency SPECT camera: the MILISIEVER study, *Journal of Nuclear Medicine* 55 (2014) 1430–1437.
- [10] The Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology, 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease, *European Heart Journal* 34 (2013) 2949–3003.
- [11] W.L. Duvall, J.M. Sweeny, L.B. Croft, et al., Comparison of high efficiency CZT SPECT MPI to coronary angiography, *Journal of Nuclear Cardiology* 18 (2011) 595–604.
- [12] M. Fiechter, J.R. Ghadri, S.M. Kuest, et al., Nuclear myocardial perfusion imaging with a novel cadmium–zinc–telluride detector SPECT/CT device: first validation versus invasive

- coronary angiography, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 38 (2011) 2025–2030.
- [13] M.M. Jensen, U. Schmidt, C. Huang, B. Zerahn, Gated tomographic radionuclide angiography using cadmium–zinc–telluride detector gamma camera: comparison to traditional gamma cameras, *Journal of Nuclear Cardiology* 21 (2014) 384–396.
- [14] M. Mouden, J.P. Ottervanger, S. Knollema, et al., Myocardial perfusion imaging with a cadmium zinc telluride-based gamma camera versus invasive fractional flow reserve, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 41 (2014) 956–962.
- [15] A. Gimelli, M. Bottai, A. Giorgetti, et al., Comparison between ultrafast and standard single-photon emission CT in patients with coronary artery disease. A pilot study, *Circulation: Cardiovascular Imaging* 4 (2011) 51–58.
- [16] A.F. Jacobson, R. Senior, M.D. Cerqueira, et al., Myocardial iodine-123 meta-iodobenzylguanidine imaging and cardiac events in heart failure. Results of the prospective ADMIREHF (AdreView Myocardial Imaging for Risk Evaluation in Heart Failure) study, *Journal of the American College of Cardiology* 55 (2010) 2212–2221.
- [17] S. Tamaki, T. Yamada, Y. Okuyama, et al., Cardiac iodine-123 metaiodobenzylguanidine imaging predicts sudden cardiac death independently of left ventricular ejection fraction in patients with chronic heart failure and left ventricular systolic dysfunction. Results from a comparative study with signal-averaged electrocardiogram, heart rate variability, and QT dispersion, *Journal of the American College of Cardiology* 53 (2009) 426–435.
- [18] M.J. Boogers, J.W. Borleffs, M.M. Henneman, et al., Cardiac sympathetic denervation assessed with 123-iodine metaiodobenzylguanidine imaging predicts ventricular arrhythmias in implantable cardioverter-defibrillator patients, *Journal of the American College of Cardiology* 55 (2010) 2769–2777.
- [19] A. Gimelli, R. Liga, D. Genovesi, et al., Association between left ventricular regional sympathetic denervation and mechanical dyssynchrony in phase analysis: a cardiac CZT study, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 41 (2014) 946–955.
- [20] B.J. van der Veen, I. Al Younis, N. Ajmone-Marsan, et al., Ventricular dyssynchrony assessed by gated myocardial perfusion SPECT using a geometrical approach: a feasibility study, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 39 (2012) 421–429.
- [21] A. Gimelli, R. Liga, A. Giorgetti, et al., Assessment of myocardial adrenergic innervation with a solid-state dedicated cardiac cadmium–zinc–telluride camera: first clinical experience, *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging* 15 (5) (2014) 575–585.
- [22] S. Ben-Haim, V.L. Murthy, C. Breault, et al., Quantification of myocardial perfusion reserve using dynamic SPECT imaging in humans: a feasibility study, *Journal of Nuclear Medicine* 54 (2013) 873–879.
- [23] G. Barone-Rochette, M. Leclerc, A. Calizzano, et al., Stress thallium-201/rest technetium-99m sequential dual-isotope high-speed myocardial perfusion imaging validation versus invasive coronary angiography, *Journal of Nuclear Cardiology* (2014) (published online November 2014).
- [24] R.G. Wells, B. Marvin, G. Kovalski, T.D. Ruddy, Planar radionuclide angiography with a dedicated cardiac SPECT camera, *Journal of Nuclear Cardiology* 20 (2013) 358–366.
- [25] M. Bocher, I.M. Blevis, L. Tsukerman, et al., A fast cardiac gamma camera with dynamic SPECT capabilities: design, system validation and future potential, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 37 (2010) 1887–1902.

Z anglického originálu online verze článku přeložil autor.