

Kontrola jakości gamma kamery z użyciem fantomu Jaszczaka

Beata Brzozowska, Zygmunt Szefliński

4 lipca 2015

Streszczenie

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi testami kontroli jakości gamma kamery, które warunkują prawidłowe działanie aparatu diagnostycznego. W ramach ćwiczenia wykonywane będą skany fantomu i rekonstrukcje uzyskanego obrazu dla dostępnych kolimatorów, różnego czasu skanowania oraz wybranych liczb projekcji.

Spis treści

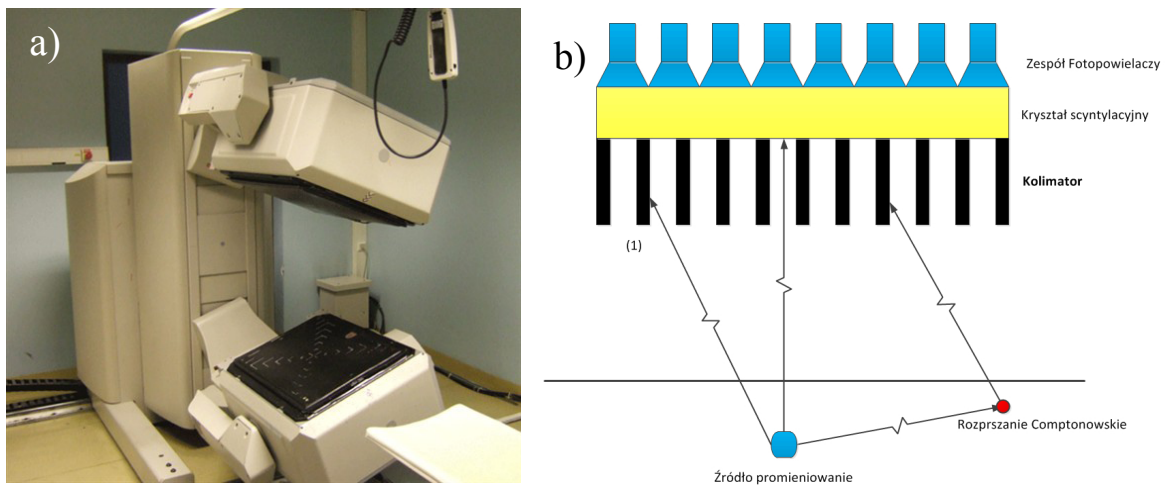
1	Podstawowe informacje o Gamma Kamerze	2
1.1	Budowa i działanie	2
1.2	Rodzaje kolimatorów	3
2	Kontrola jakości	3
2.1	Rutynowe testy	4
2.2	Fantom Jaszczaka	4
3	Wykonanie ćwiczenia	5
4	Analiza danych	7
4.1	Wpływ parametrów na jakość otrzymanych zdjęć	7
4.2	Analiza jakościowa zdjęć fantomu Jaszczaka	7
4.3	Ilościowe wyznaczenie rozdzielczości przestrzennej GK	8

1 Podstawowe informacje o Gamma Kamerze

Gamma Kamera (GK) jest zaawansowanym technologicznie urządzeniem umożliwiającym bardzo dokładną wizualizację struktury narządów wewnętrznych, w których nagromadzony jest radioizotop. Inteligentna robotyka, unikalna budowa detektorów i działanie przyjazne dla użytkownika, sprawia, że jest to idealny aparat diagnostyczny zarówno dla kardiologii, onkologii, jak i również do ogólnego obrazowania z użyciem promieniowania jonizującego.

1.1 Budowa i działanie

GM składa się z jednego lub kilku ruchomych ramion, na których umieszczone są detektory scyntylacyjne (Rys. 1.1 a). Każda głowica detektora składa się bowiem z kolimatora, kryształu scyntylacyjnego i umieszczonych na jego powierzchni fotopowielaczy (Rys. 1.1 b).



Rysunek 1: Zdjęcie Gamma Kamery (a) oraz konstrukcja głowicy zawierającej kolimator, scyntylator i fotopowielacze (b).

W celu uzyskania dokładnego rozkładu radiofarmaceutyku w ciele pacjenta na powierzchni detektorów scyntylacyjnych Gamma Kamery stosuje się tzw. kolimatory. Są one zbudowane z ołowianej blachy o rozmiarach odpowiadających rozmiarom kryształu scyntylacyjnego. Grubość kolimatora ma wpływ na parametry uzyskiwanego obrazu i może być różna w zależności od planowanego badania. W kolimatorze znajdują się otwory, których średnica też jest zależna od rodzaju kolimatora. Zwykle są to otwory wykonane w kierunku prostopadłym do powierzchni kolimatora, zaś w przekroju poprzecznym mają heksagonalny kształt. Rolą kolimatora jest filtracja (pochłonięcie) promieniowania, którego kierunek znacznie odbiega od osi otworu. Kształt, średnica otworów, grubość ścian między nimi (sept), a także ich położenie w stosunku do powierzchni kolimatora mają wpływ na parametry uzyskiwanego obrazu.

Za kolimatorem w gamma kamerze znajduje się kryształ scyntylacyjny. Absorbując on kwanty γ i zamienia je na błysk światła. Im większa energia kwantu, tym większa amplituda błysku. Fotony światła wytworzone w scyntylatorze docierają do fotopowielaczy, powodując emisję elektronów. Ponieważ na powierzchni kryształu umieszczonych jest wiele fotopowielaczy ułożonych w macierz, możliwe jest dokładne określenie położenia błysku w kryształach. Amplituda sygnału wychodzącego z fotopowielacza zależy od liczby elektro-

nów, a więc jest proporcjonalna do amplitudy błysku w kryształach, czyli energii kwantu γ .

Uzupełnieniem stanowiska Gamma Kamery jest ruchome łóżko pacjenta. Porusza się ono tak, aby ułatwić wykonanie pomiaru. Urządzenie obsługuje stacja robocza z systemem do obrazowania medycznego - Xeleris Functional Imaging Workstation. Do obsługi gamma kamery można wykorzystać dwa monitory (wyświetlające dokładnie takie same komunikaty) z ekranem dotykowym i pilot zdalnego sterowania znajdujący się bezpośrednio nad detektorami. Zarówno detektory jak i łóżko można przesuwac i rotować mechanicznie. Podczas pracy z urządzeniem wymagana jest odpowiednia temperatura i nawilżenie powietrza, dlatego podczas wykonywania doświadczenia w pomieszczeniu musi być włączona klimatyzacja oraz nawilżacz powietrza.

Wykonanie pomiaru w jednym położeniu detektora daje obraz planarny, zaś pomiar połączony z obrotem detektorów pozwala na utworzenie trójwymiarowego obrazu rozkładu radioizotopu w badanym narzędziu. Gamma Kamera GE Healthcare SMV DST-XLi znajdująca się w Laboratorium Obrazowania Medycznego Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów i Wydziału Fizyki UW (LOB) posiada 2 ramiona z detektorami i pozwala na wykonanie skomplikowanych geometrycznych pomiarów oraz dokładną rekonstrukcję uzyskanego obrazu.

1.2 Rodzaje kolimatorów

Do obrazowania z użyciem Gamma Kamera w LOB wykorzystuje się trzy rodzaje kolimatorów, opisanych poniżej. Ze względu na energię padającego promieniowania, kolimatory o otworach równoległych dzielą się na następujące typy:

- **LEUHR** - niskoenergetyczny o niezwykle wysokiej rozdzielczości (z ang. Low Energy, Ultra High Resolution),
- **LEHR** - niskoenergetyczny o wysokiej rozdzielczości (z ang. Low Energy, High Resolution),
- **LEAP** - niskoenergetyczny do ogólnego zastosowania (z ang. Low Energy, All Purposes),
- **MEAP** - średnioenergetyczny do ogólnego zastosowania (z ang. Medium Energy, All Purposes),
- **HEGP** - wysokoenergetyczny do ogólnego zastosowania (z ang. High Energy, General Purpose).

W naszym Laboratorium przy wykorzystaniu ^{99m}Tc używa się kolimatorów nisko- oraz średnioenergetycznych.

2 Kontrola jakości

Kontrola jakości aparatów diagnostycznych jest kluczowym elementem zapewniającym prawidłowe ich użytkowanie. Do zadań fizyka medycznego lub technika pracującego przy danym urządzeniu należy wykonanie testów maszyny, które umożliwią poprawne wykonanie zdjęć diagnostycznych. Testy, które powinny być przeprowadzone, są definiowane przez specjalne organizacje, np. EANM (z ang. European Association of Nuclear Medicine) [1] lub NEMA (z ang. National Electrical Manufacturers Association) [2]. Jednak częstość ich wykonywania może zależeć od warunków panujących w pomieszczeniu diagnostycznym (np. temperatura i wilgotność powietrza).

2.1 Rutynowe testy

Oprócz testów codziennych, wykonywanych po włączeniu aparatu (przed wizytą pierwszego pacjenta), wyróżnia się testy tygodniowe, miesięczne, kwartalne i roczne. Wszystkie pomiary są zapisywane w przeznaczonym do tego celu zeszycie bądź przechowywane w formie cyfrowej. Czas na wykonanie kontroli jakości powinien być uwzględniony w harmonogramie zadań, zaś pracownicy mogą wykonywać testy jedynie po odpowiednim przeszkoleniu. Przykładowy zestaw testów został przedstawiony w Tab. 1.

Tablica 1: Rodzaje testów Gamma Kamery oraz częstość ich wykonywania w jednostkach klinicznych [1].

Test	Częstość wykonywania
Sprawdzenie manualne poprawnego zamontowania kolimatorów i głowic detektora oraz sprawdzenie, czy kolimator nie ma żadnych uszkodzeń	codziennie
Przetestowanie przycisków bezpieczeństwa	codziennie
Sprawdzenie widma energetycznego ^{99m}Tc (i innych radioizotopów, jeśli są używane)	codziennie
Sprawdzenie promieniowanie tła	codziennie
Wizualne sprawdzenie przestrzennej jednorodności i czułości detektora	codziennie
Ilościowe sprawdzenie przestrzennej jednorodności i czułości detektora	raz w tygodniu lub w miesiącu
Sprawdzenie przestrzennej jednorodności emisji innych radioizotopów, jeśli są używane	raz na 3 miesiące
Sprawdzenie przestrzennej zdolności rozdzielczej i liniowości - wizualnie	raz na 6 miesięcy
Oszacowanie rozmiaru pixela	raz na 6 miesięcy

W ramach ćwiczenia kontrola jakości GK opiera się o sprawdzenie czterech głównych parametrów:

- charakterystyka fotopiku;
- jednorodność pola widzenia;
- przestrzenna zdolność rozdzielcza;
- liniowość.

Szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych elementów kontroli jakości znajdują się w rozdziale 4.

2.2 Fantom Jaszczaka

W Laboratorium Obrazowania Medycznego Środowskowego Laboratorium Ciężkich Jonów (ŚLCJ) i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego dostępna jest Gamma Kamera firmy General Electric oraz fantom Jaszczaka firmy Pro-Project, którego dane techniczne opisane są poniżej.

Fantom Jaszczaka wykorzystywany jest do kontroli jakości. Jego **główny cylinder** ma średnicę 206 mm i wysokość równą 186 mm. Grubość jego ścianek wynosi 7 mm. Wyposażony jest on w **pręciki** o pięciu różnych średnicach: 5, 6, 8, 10, 11 i 13 mm. Mają

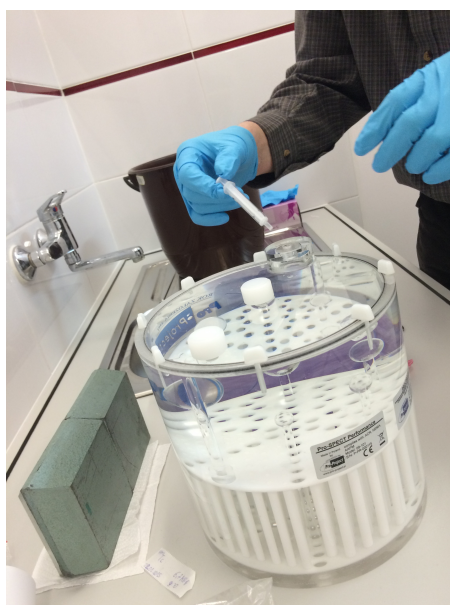
one taką samą wysokość, która wynosi 88 mm. Drugim bardzo ważnym elementem budowy fantomu są **sfery** o następujących średnicach: 9,5, 12,7, 15,9, 19,1, 25,4 i 31,8 mm. Środki tych sfer znajdują się na wysokości 127 mm.



Rysunek 2: Zdjęcie fantomu Jaszczaka [3].

3 Wykonanie ćwiczenia

Przed przystąpieniem do wykonywania właściwego ćwiczenia student powinien zapoznać się zarówno z instrukcją włączania i wyłączania GK oraz z procedurami wymiany kolimatorów, opisanymi w instrukcji obsługi GK, jak również z pozostałymi instrukcjami i zasadami BHP obowiązującymi w Laboratorium [4]. Niezbędnym parametrem, który umożliwi uniknięcie artefaktów, jest zastosowanie $90 \cdot 10^6$ zliczeń na każdą z głowic detektora. Całkowity czas zbierania danych nie powinien być dłuższy niż 1 godzina, co pozwoli

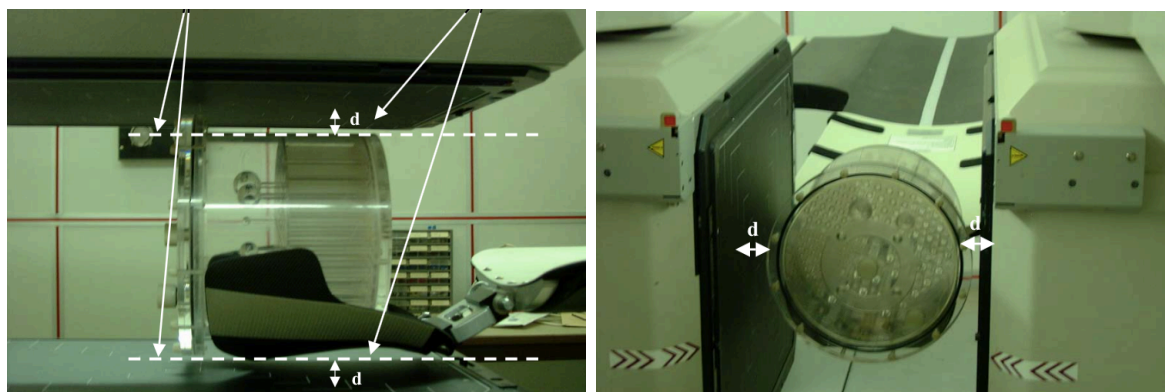


Rysunek 3: Wstrzykiwanie radioizotopu do fantomu.

na nie wprowadzanie poprawek związanych z rozpraszaniem.

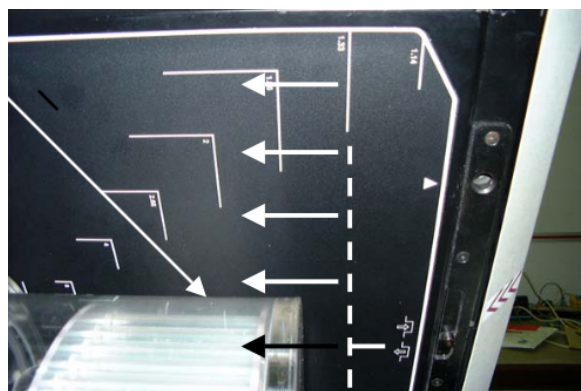
Pierwszym krokiem jest wypełnienie i ustawienie fantomu. Zarówno do kontroli jakości GK, jak i do diagnostyki medycznej używa się między innymi izotopu technetu – ^{99m}Tc . Technet jest często wykorzystywanym radionuklidem, ponieważ charakteryzuje się wystarczająco dużą energią kwantów gamma równą 140 keV i czasem połowicznego rozpadu równym 6 h. Radioaktywny technet (aktywność próbki powinna wynosić około 500 MBq) należy wstrzyknąć za pomocą strzykawki do wypełnionego wcześniej wodą fantomu Jaszczaka (Rys. 3). Bezpośrednio po tym fantom powinien być intensywnie poruszany tak, aby roztwór radioizotopu został równomiernie rozprowadzony w całej dostępnej objętości. W celu uniknięcia artefaktów na zrekonstruowanym obrazie, należy usunąć wszystkie pęcherzyki powietrza, powstałe podczas mieszania.

Fantom należy następnie ustawić na stole pomiarowym równolegle do detektorów zaparkowanej już Gamma Kamery, zaś głowice detektora powinny zostać ustawione w odległości ok. 5 mm od fantomu, jak na Rys. 4.



Rysunek 4: Ułożenie fantomu Jaszczaka równolegle do głowic detektora. Odległość d powinna wynosić około 5 mm.

Fantom Jaszczaka powinien znajdować się w obszarze oznaczonym na Rys. 5 jako 1.33. W tym celu należy odpowiednio ustawić za pomocą pilota wysokość łóżka oraz odległość między głowicami. Procedurę należy powtórzyć dla głowic obróconych o 90° . Należy zwrócić szczególną uwagę, żeby fantom znajdował się w równej odległości od każdej z głowic.



Rysunek 5: Pozycja fantomu Jaszczaka w stosunku do głowic Gamma Kamery. Preferowany obszar to 1.33.

Optymalne parametry akwizycji danych przedstawiają się następująco:

- kolimator: LEUHR 140
- skanowanie tomograficzne 180°
- łóżko w pozycji OUT
- matryca wielkości 128 x 128
- pomiar podzielony na 32 kroki (całkowita liczba projekcji = 64)
- czas = 1 min / projekcję
- zbliżenie 1.33 (parametr zoom)

4 Analiza danych

Informacje dotyczące sposobu przesłania danych na serwer opisane są w instrukcji obsługi GK dostępnej na stronie LOB [4]. Tak zapisane dane mogą być wykorzystane do analizy z użyciem systemu Xeleris zainstalowanego na komputerze w Laboratorium lub zapisane w formacie JPEG lub DICOM do pracy własnej np. z programem ImageJ [5].

4.1 Wpływ parametrów na jakość otrzymanych zdjęć

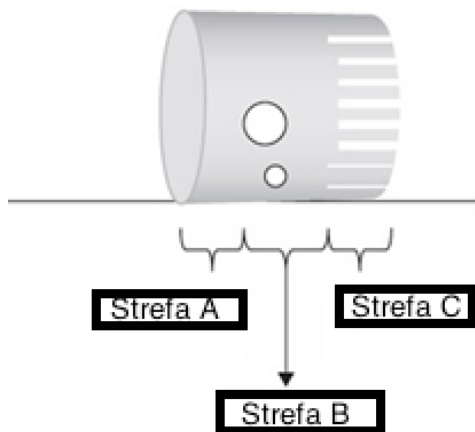
Student ma do dyspozycji optymalne parametry akwizycji danych. Ćwiczenie ma jednak za zadanie zbadanie wpływu następujących parametrów na jakość otrzymanych obrazów:

- czas pomiaru pojedynczej projekcji,
- aktywność używanego radioizotopu,
- jednorodność przygotowanej mieszaniny wypełniającej fantom.

Po wykonaniu serii pomiarów należy wybrać ten zestaw danych o najlepszej rozdzielczości, który może posłużyć do kolejnych kroków analizy.

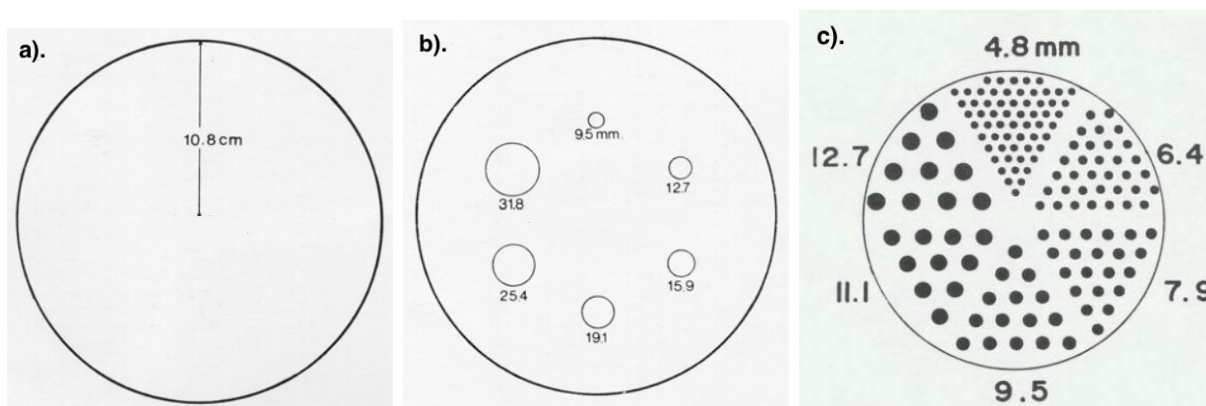
4.2 Analiza jakościowa zdjęć fantomu Jaszczaka

W fantomie Jaszczaka można wyróżnić trzy strefy, które służą do określenia jednorodności obrazu i rozdzielczości przestrzennej GK (Rys. 6 i Rys. 7).



Rysunek 6: Schemat warstw fantomu Jaszczaka.

Strefa A służy do badania jednorodności. Należy sprawdzić czy nie ma w niej żadnych widocznych artefaktów. W strefie B znajdują się sfery o różnej średnicy. Rozdzielczość GK może zostać oszacowana w zależności od tego, które z tych sfer są widoczne. Podobnie w strefie C, widoczność prętów o konkretnych rozmiarach świadczy o rozdzielczości GK.



Rysunek 7: Widok z góry na poszczególne strefy fantomu Jaszczaka: a) strefa A, b) strefa B, c) strefa C.

4.3 Ilościowe wyznaczenie rozdzielczości przestrzennej GK

Oprócz wizualnego oszacowania parametrów GK na podstawie otrzymanych obrazów, możliwe jest również określenie ilościowej jednorodności oraz rozdzielczości przestrzennej. W tym celu można skorzystać z programu ImageJ, służącego do analizy obrazów diagnostycznych zarówno w formacie JPEG, jak i DICOM. ImageJ zawiera funkcje pozwalające na wyznaczenie szerokości rozkładu obrazu punktowego źródła w połowie jego wysokości, co pozwala na określenie zdolności rozdzielczej, ale możliwe jest również napisanie własnego skryptu, który oba parametry będzie liczył. Decyzja o sposobie wyznaczenia obu parametrów należy do osoby wykonującej ćwiczenie.

Literatura

- [1] E. Busemann Sokole et al., Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging (2010) 37: 662–671
- [2] P. Murphy, J. Nucl. Med. (1987) 28: 1221-1212
- [3] Strona producenta [dostęp: 15-06-2015], dostępna online: <http://project.pl/glowna>
- [4] Instrukcja obsługi Gamma Kamery [dostęp: 15-06-2015], dostępna online: http://www.fuw.edu.pl/~bbrzozow/FizMed/LOB/Wpisy/2015/6/15_Zajecia_dydaktyczne.html
- [5] Strona producenta [dostęp: 15-05-2015], dostępna online: <http://imagej.nih.gov>