

- 원 저 -

감마카메라의 공간분해능 변화와 화질과의 관계

원광보건대학 방사선과 · 동남보건대학 방사선과
이만구 · 박성옥*

- Abstract -

Relationship Between Image Quality and Changes in Spation Resolution for the Gamma Camera

Man Koo Lee · Soung Ock Park*

Dept. of Radiologic Technology, Wonkwang Health Science College
Dept. of Radiologic Technology, Dongnam Science College*

The purpose of this study is to examine quantitatively the relationship between visual image quality and degradation in spatial resolution for a gamma camera by the increase in distance from collimator. The relationship between the portion(p) of images identified the difference of image quality and the difference(Δ FWHM) in FWHM between paired images was showed in a sigmoid curve. Using Dendy's method, minimum level to be correctly identified the difference of image quality on three out of four occasion($p=0.75$) was corresponded to 0.4 mm in Δ FWHM. Using fuzzy theory, the level to be identified the difference of image quality was examined under various conditions. The truth-value of fuzzy sets—degraded or slightly degraded and not-degraded in image quality between paired images—was gained the peak at 0.5 mm of Δ FWHM. It was founded that changes of 0.4~0.5 mm in FWHM—corresponding about 2 cm distance from collimator could be sufficiently identified in the difference of image quality.

I. 서 론

감마카메라의 공간분해능은 장치의 성능을 평가하거나 정도관리(quality control)하는데 중요한 인자이다. 또한 화질에 크게 영향을 주는 인자이기도 하다^{1~5)}. 우수한 화질의 scintigram을 얻기 위하여 콜리메타를 피사체에 밀착시켜 촬영하는 것이 기본이나 일상적인 임상에서 전 증례에 밀착한 촬영이 가능하다고는 할 수 없다. 따라서 콜리메타와 피사체 사이의 거리가 떨어짐으로 인한 공간분해능의 저하와 시각적인 화질의 변화와의 관계를 검토하였다. 그 결과 공간분해능의 변화와 화질의 관계를 정량적으로 분석이 가능하며 촬영할 때 유용한 데이터를 얻었기에 보고한다.

II. 방 법

사용한 감마카메라는 digital gamma camera system

GCA-901A(Toshiba)이며, 140 keV 고분해능용 콜리메타를 부착하여 검토하였다.

1. 공간분해능측정

^{99m}Tc 용액(37 MBq/ml)을 내경 1 mm의 폴리에틸렌관에 넣어 선 선원으로 하였다. 콜리메타와 선 선원의 거리는 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 cm로 변화시켜 선 선원 데이터를 컴퓨터에 입력하였다. 그리고 선응답함수(LSF)를 구하여 FWHM, FWTM(각각 5 예를 구하여 평균)을 산출하였다. 산란체로서 선 선원 아래에 18 cm 두께의 아크릴을 놓았다.

2. 화질평가

화질을 시각적으로 평가하기 위하여 bar phantom image와 bone scintigram을 이용하였다. 콜리메타와 피사체 사

* 이 논문은 2000학년도 교내 학술연구비 지원에 의해 연구 되었음.

이의 거리는 모두 0, 1, 2, 3, 4, 5 cm로 변화시켜 촬영하였다. Bar phantom image는 다음과 같은 조건으로 작성하였다. 각각의 bar의 간격은 4.8 mm의 곳을 사용하였으며, 그 아래에 두께 10 cm의 플라스틱 용기에 넣은 ^{99m}Tc 용액(185 MBq)을 넣고, 또한 그 아래에 산란체로서 8 cm 두께의 아크릴을 놓았다. 그리고 300 k count로 일정하게 촬영하였다. Bone scintigram(^{99m}Tc -MDP 740 MBq 투여 후 3시간 화상)은 흉부 후면 상(정상 예)을 이용하였다. 수집 count는 800 k로 일정하게 하였다. 이 화상은 감마 카메라에 부착되어 있는 multiformat camera를 이용하여 핵의학용 필름에 촬영하였다.

화상평가는 콜리메타를 밀착하고 촬영한 화상에 대하여 콜리메타와 피사체간의 거리를 두고 촬영한 화상의 쌍을 만들어(각 5매씩 총 30매) 관찰자(5명)가 시각적으로 판단하였다. 시각적 평가는 구 화질의 차이가 "있다", "약간 있다", "없다" 3가지로 실시하였다. 또한 평가에 이용한 view box(밝기 8000 lx)는 일상적인 scintigram의 관독에 사용하는 것으로 필름과 눈의 거리는 약 50 cm에서 관독하였다. 그 평가에 사용한 bar phantom image의 예는 Fig. 1과 같다.

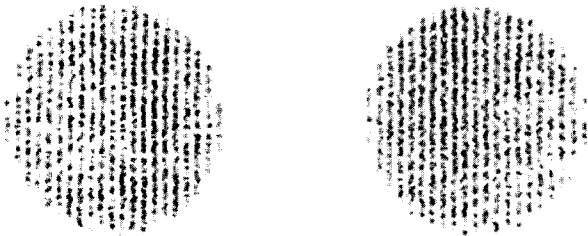


Fig. 1. Example of a pair of bar phantom images. The one on the left was taken in 0 cm distance from collimator, the one on the right in 3 cm distance.

III. 결 과

1. 공간분해능

콜리메타와 선원 간 거리를 변화시켰을 때의 공간분해

능의 변화는 Fig. 2와 같다. 콜리메타를 밀착시켰을 때의 FWHM은 7.25 mm이었으며 거리(x cm)가 멀어질수록 거의 직선적으로 FWHM(y_H mm)은 커지며, $y_H = 0.236x + 7.25$ 의 관계식으로 나타낼 수 있었다. FWTM(y_T mm)은 콜리메타를 밀착시켰을 때 11.2 mm이었으며 10 cm의 거리 범위 내에서는 거리가 멀어질수록 거의 직선적으로 커졌다. 그 경사는 FWHM보다 크며 $y_T = 0.3x + 11.2$ 로 나타낼 수 있었다.

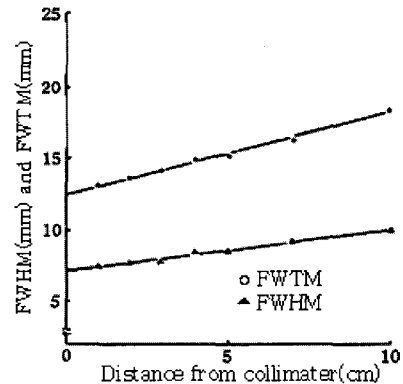


Fig. 2. FWHM and FWTM plotted as a function of distance from collimator

2. 화질평가

Bar phantom image를 이용하여 화질을 평가한 결과는 Table 1과 같다. Table에서 Δ FWHM은 콜리메타를 밀착시켰을 때의 FWHM을 기준으로 하여 콜리메타를 떨어지게 하였을 때의 FWHM과의 차이이다. Δ FWHM=0에서 같은 질의 화상임에도 불구하고 화질의 차이가 있다와 약간 있다라고 평가된 비율은 47%나 있었다. 콜리메타로부터 거리가 멀어지면 Δ FWHM은 커지며 시각적으로 화질의 차이를 인식할 수 있는 비율(차이가 있다와 약간 있다 의 비율)은 커졌다. 콜리메타로부터 거리가 4 cm 이상 떨어지면 Δ FWHM은 0.95 mm 이상으로 되어 화질상의 차이를 100% 인식할 수 있었다.

Bone scintigram에서 같은 방법으로 화질을 평가한 결

Table 1. Comparison of paired images(Bar phantom image)

Distance from collimator(cm)	Δ FWHM (mm)	Proportion of difference in image quality		
		Degraded	Slightly degraded	Not degraded
0	0	0.03	0.44	0.53
1	0.24	0.06	0.47	0.47
2	0.48	0.17	0.64	0.19
3	0.71	0.64	0.36	0
4	0.95	1.00	0	0
5	1.18	1.00	0	0

Table 2. Comparison of paired images(Bone images)

Distance from collimator(cm)	Δ FWHM (mm)	Proportion of difference in image quality		
		Degraded	Slightly degraded	Not degraded
0	0	0.06	0.36	0.58
1	0.24	0.18	0.42	0.40
2	0.48	0.24	0.61	0.15
3	0.71	0.39	0.52	0.09
4	0.95	0.52	0.48	0
5	1.18	0.67	0.33	0

과는 Table 2와 같다. Δ FWHM=0일 때 화질이 같다고 평가된 비율은 58%이었으며, 차이가 있다 및 약간 있다라고 한 평가 비율은 42%이었다. Bar phantom image와 마찬가지로 Δ FWHM이 커지면 두 화질의 차이를 인식할 수 있는 비율도 커졌다. 그러나 콜리메타로부터 거리가 4~5 cm 떨어져도 화질의 차이가 약간 있다라고 하는 평가 비율은 33~48%이었다. 화질상의 차이에서 차이가 있다 및 약간 있다라고 하는 평가의 비율을 합산하여 Δ FWHM

과의 관계를 그래프로 나타내면 Fig. 3과 같다.

Δ FWHM이 커짐에 따라 화질의 차이를 인식할 수 있는 비율(p)도 증가되어 bar phantom image, bone scintigram 같은 경향을 나타내었다. Δ FWHM의 변화에 대응하여 화질상의 차이의 정도의 비율(차이가 있다, 약간 있다, 없다의 비율)을 fuzzy 집합⁶⁾으로 고려하여 그 membership function으로 표시하면 Fig. 4와 같다. Fig. 4를 이용하여 Δ FWHM의 변화에 대응한 진리 값은 Table 3과 같이 정

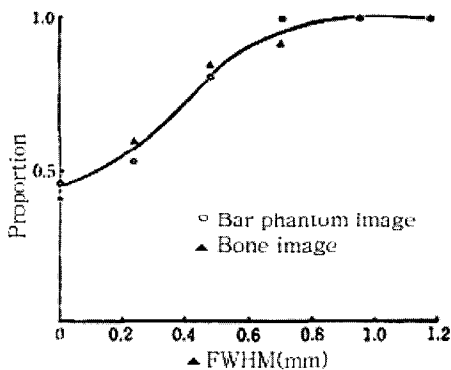


Fig. 3. Proportion of degradation of subjective image quality plotted as a function of Δ FWHM.

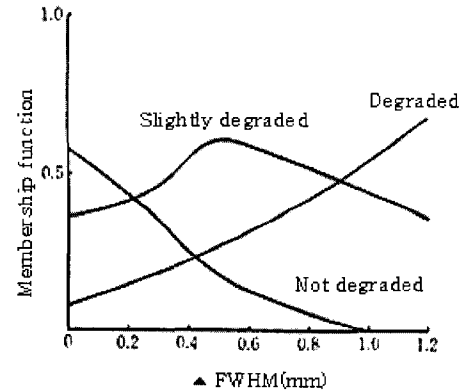


Fig. 4. Membership function plotted as a function of Δ FWHM.

Table 3. Truth-value for proportion of degradation in subjective image quality

Δ FWHM (mm)	Degraded $\mu_A(x)$	Slightly degraded $\mu_B(x)$	Not degraded $\mu_C(x)$	$(A \cup B) \cap \bar{C}$	$(A \cap B) \cap \bar{C}$
0	0.17	0.36	0.58	0.36	0.17
0.1	0.11	0.38	0.52	0.38	0.11
0.2	0.14	0.41	0.45	0.41	0.14
0.3	0.18	0.46	0.35	0.46	0.18
0.4	0.21	0.55	0.24	0.55	0.21
0.5	0.26	0.61	0.16	0.61	0.26
0.6	0.32	0.58	0.12	0.58	0.32
0.7	0.38	0.55	0.08	0.55	0.38
0.8	0.42	0.50	0.04	0.50	0.42
0.9	0.48	0.48	0.02	0.48	0.48
1.0	0.55	0.44	0	0.55	0.44
1.1	0.61	0.40	0	0.61	0.40
1.2	0.68	0.35	0	0.68	0.35

리할 수 있다. Table의 $\mu A(x)$, $\mu B(x)$, $\mu C(x)$ 는 각각 화질에서 차이가 있다, 약간 있다, 없다라고 하는 평가 비율에 대한 membership function으로 나타낸다. $\Delta FWHM$ 의 변화에 대응하여 화질의 차이가 있다, 또는 약간 있다라고 하는 평가에 추가하여 화질상 같지 않다라고 평가되는 진리 값 $((A \cup B) \cap \bar{C})$ 을 계산하면 $\Delta FWHM=0.5$ mm에서 peak 치는 0.61이다. 마찬가지로 화질의 차이가 있다 및 약간 있다 라고 하는 평가에 추가하여 화질 상 같지 않다라고 평가되는 진리 값 $((A \cap B) \cap \bar{C})$ 을 계산하면 $\Delta FWHM$ 의 변화에 대하여 $\Delta FWHM=0.9$ mm에서 peak치는 0.48이었다. 이와 같이 fuzzy 이론을 적용함으로써 화질의 차이의 레벨에 따른 평가가 가능하다.

Fig. 5는 bone scintigram에 있어서 콜리메타를 밀착하여 촬영한 화상(좌측)과 4 cm 떨어져 촬영한 화상(우측)의 예이다. 좌 늑골의 이상집적은 좌측 화상 쪽이 보다 선명하다.



Fig. 5. Example of a pair of bone images. The one on the left was taken in 0 cm distance from collimator, the one on the right in 4 cm distance.

IV. 고 찰

감마카메라의 공간분해능은 화질에 크게 영향을 미치는 인자이며, 화질과의 관계가 종종 검토되고 있다^{7, 8)}. 공간분해능은 일반적으로 FWHM, FWTM으로 평가되며 그 변화는 화상 대조도에 영향을 미치며 화질을 좌우한다⁷⁾. 화질의 객관적인 평가로는 SN비를 계산하여 평가하는 방법^{8, 8)}도 있으나 시각적인 평가와는 반드시 일치하지 않는다. 시각적인 평가에는 많은 복잡한 인자가 있기 때문이다. 실제 판독은 시각적으로 이루어지기 때문에 시각적인 화질을 평가하여 콜리메타와 피사체간의 거리를 떨어지게 하여 공간분해능의 저하와의 관계를 검토하였다.

시각적인 화질의 차이를 평가하는 방법으로는 순위를 매기는 방법¹⁰⁾도 있으나 대상으로 하는 화상의 쌍을 만들어 화질을 비교하는 방법¹¹⁾을 이용하였다. 이것은 일상적으로 이루어지는 핵의학 진료에서 경과관찰 등으로 시행

되는 방법이기 때문이다.

화질평가의 오차를 될 수 있는 한 적게 하기 위하여 평가에 사용한 화상 데이터 수, 관찰자의 인원수에 중점을 두었다. 화상 데이터는 동일한 조건에서 쌍을 각 5에로 하고, 관찰자의 수는 5명으로 하였다. 또한 사용하는 필름, 수집 count 수에 의해서도 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다¹¹⁾. 따라서 핵의학 검사에 실제로 이용되고 있는 핵의학용 필름을 사용하고, 수집 count, 화상 크기, 화상 농도를 일정하게 하는 방법으로 화상 데이터를 준비하였다.

화질평가 결과는 화상 쌍에 대하여 화질상의 차이가 있다, 약간 있다, 없다 3종류로 정리하였다. 따라서 화질상의 차이가 있다 및 약간 있다 라고 하는 평가를 합산하여 고려하면 Fig. 3과 같았다. $\Delta FWHM$ 이 클수록 S자형 곡선을 나타내며 화질상의 차이를 인식할 수 있는 비율(p)은 커졌다. Bar phantom image도 bone scintigram과 같은 경향을 보였다. Dendy 등¹¹⁾은 화상의 복잡함은 화질의 차이의 평가에 영향을 미치지 않는다고 보고하고 있으며 Fig. 3의 그래프는 그 생각과 같은 경향을 나타냈다. 그러나 bone scintigram은 background가 추가된다는 점이며 화질상의 차이가 약간 있다 라고 하는 평가의 비율은 컸다. Dendy 등의 방법¹¹⁾에 따라 화질상의 차이를 충분히 인식할 수 있는 기준을 $p=0.75$ 로 하면 Fig. 3으로부터 $\Delta FWHM=0.4$ mm이었다. 이것은 콜리메타로부터 1.7 cm 떨어진 값과 같았다.

한편 화질평가에 fuzzy 이론⁷⁾을 적용하여 그 평가를 시도하였다. Table 3에 나타낸 membership function($\mu A(x)$, $\mu B(x)$, $\mu C(x)$)을 이용하여 각각의 입장에서 화질상의 차이를 평가할 수 있다. 단, A, B, C는 각각 화질상 차이가 있다, 약간 있다, 없다 라고 하는 평가의 집합이다. $(A \cup B) \cap \bar{C}$ 의 진리 값은 $\Delta FWHM=0.5$ mm일 때 peak 값을 가지며 Dendy 등의 방법으로 평가한 값($\Delta FWHM=0.4$ mm)와 거의 같다. $(A \cap B) \cap \bar{C}$ 의 진리 값의 peak는 $\Delta FWHM=0.9$ mm이 있으며 $(A \cup B) \cap \bar{C}$ 일 때보다 더 명확하게 차이가 있다고 하는 입장에서 평가한 것이 된다. $\Delta FWHM=0.5, 0.9$ mm는 각각 콜리메타로부터 2.1 mm, 3.8 mm 떨어졌을 때의 값에相当하였다. 이상 검토 결과를 종합하여 고려하면 콜리메타로부터 거리가 약 2 cm 떨어지면 $\Delta FWHM$ 은 약 0.5 mm로 되어 시각적인 화질상의 차이가 명확히 된다고 할 수 있다. 그러나 Fig. 4와 같이 콜리메타로부터 거리가 예를 들어 4 cm 떨어져도 두 화상에 있어서 판독결과에 차가 생긴다고 할 수 있다. 일상적인 핵의학 검사에서는 콜리메타를 될 수 있는 한 피사체에 가깝게 촬영하는 것이 원칙이며, 극단적인 경우를 제외하고 수 cm의 거리이면 그 정도로 엄격하게 하지 않아도 된다고 할 수 있다.

V. 결 론

콜리메타로부터 거리가 떨어짐으로서 공간분해능의 저

하가 시각적으로 화질에 미치는 영향에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 콜리메타를 밀착시켰을 때의 FWHM을 기준으로 하여 콜리메타가 떨어졌을 때의 FWHM과의 차이를 Δ FWHM이라 하면 화질상의 차이를 인식할 수 있는 비율(p)은 Δ FWHM이 커짐에 따라 S자형 곡선을 그리며 증가하였다.

(2) Dendy 등의 방법에 의해 $p=0.75$ 의 값을 화질상의 차이를 충분히 인식할 수 있는 기준으로 하면 Δ FWHM = 0.4 mm이었다. 또한 fuzzy 이론을 적용하여 화질의 차이를 인식할 수 있는 기준을 검토하면 그 평가 기준에 따라 값은 다르나 화질상의 차이가 있다 또는 약간 있다 라고 하는 평가에 추가하여 화질 상 같다고 평가되는 진리 값은 Δ FWHM = 0.5 mm에서 peak로 되었다. 이러한 값은 콜리메타로부터 약 2 cm 떨어졌을 때의 값과 같았다.

참 고 문 헌

1. 박성옥, 이만구, 장상섭, 유광열 : 핵의학영상기술학, pp. 96~110, 보문서원, 1998.
2. NEMA Standards for Measurements of Scintillation Camera, 1986.
3. Quality control for scintillation cameras, Rockville : U.S Department of Health, Education, and Welfare, 1976.
4. Scintillation camera acceptance testing and performance evaluation. AAPM Report No. 6, Chicago : American Institute of Physics, 1980.
5. Masuda K., Ikemoto Y., et al : Ability evaluation and imaging of a scinti-camera, *Japanese Journal of Radiological Technology* 41(7) : 1095~1102, 1985.
6. 水本雅晴 : 「フアジイ理論とその應用」, pp.17~38, 사이언스社, 東京, 1988.
7. Shosa, D. and Kaufman, L. : Methods for evaluation of diagnostic imaging instrumentation, *Phys. Med. Biol.*, 26(1) : 101~112, 1981.
8. Muehlllehner G., Wake R.H., and Sano R. : Standards for performance of scintillation cameras, *J Nucl. Med* 22 : 72~77, 1981.
9. Lancaster J.K, Kopp D.T, Lasher J.S., and Blumhardt R. : Practical gamma camera quality control with a four-point phantom, *J. Nucl. Med.* 26 : 300~307, 1985.
10. Kasal, B., Sharp, P.F. and Dendy, P.P. : Relationship between objective and subjective assesment of gamma camera image sharpness, *Phys. Med. Biol.* 28(1), 1127~1134, 1983.
11. Dendy, P.P, Barber, R.W. and Bayliss, C.C. : *Eur. J. Med.*, 14, 579~585, 1988.