

소아 SPECT/CT 검사를 위한 최저조건에서의 피폭선량측정 및 팬텀의 영상평가

서울대학교병원 핵의학과

박찬록 · 최진욱 · 조성욱 · 김진의

Absorbed Dose Measurements and Phantom Image Evaluation at Minimum CT Dose for Pediatric SPECT/CT Scan

Chan Rok Park, Jin Wook Choi, Seong Wook Cho and Jin Eui Kim

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose: The purpose of study was to evaluate radiation dose for pediatric patients by changing tube voltage (kVp) and tube current (mA) at minimum conditions. By evaluating radiation dose, we want to provide dose reduction for pediatric patients and maintain good quality of SPECT/CT images. **Materials and Methods:** Discovery NM/CT 670 Scanner was used as SPECT/CT. Tube voltages are 80 and 100 kVp. Tube currents are 10, 15, 20, 25 mA. Using PMMA (Polymethyl methacrylate) Phantom, radiation dose which were calculated at center and peripheral dose and SNRD (Signal to Noise Ratio Dose) were evaluated. Using the CT performance phantom, spatial resolution was evaluated as the MTF (Modulation Transfer Function) graph. Jaszczak phantom was used for SPECT image evaluation by CNR (Contrast to Noise Ratio). **Results:** Radiation dose using the PMMA phantom was higher peripheral dose than center dose about 7%. SNRD were 7.8, 8.2, 8.3, 8.8, 8.8, 9.9, 9.8, 9.6 for 80 kVp 10, 15, 20, 25 mA, 100 kVp 10, 15, 20, 25 mA. We can distinguish 35, 45, 70, 71, 52, 58, 90, 110 linepair for 80 kVp 10, 15, 20, 25 mA, 100 kVp 10, 15, 20, 25 mA at resolution with MTF. CNR of SPECT images using CT attenuation map were 57.8, 57.7, 57.1, 56.7, 56.6, 56.7, 56.7, 56.7% for 80 kVp 10, 15, 20, 25 mA, 100 kVp 10, 15, 20, 25 mA. **Conclusion:** In this study, radiation dose for pediatric patients showed decreased low dose condition. And SNRD value was similar in all condition. Resolution showed higher value at 100kVp than 80kVp. for CNR, there was no significant difference. we should take additional study to prove better quality and dose reduction. (Korean J Nucl Med Technol 2014;18(1):82-88)

Key Words : SPECT/CT, SNRD, CNR, MTF

서 론

SPECT/CT는 SPECT검사로 획득한 기능 데이터와 진단 CT로 획득한 고 해상도의 해부학적 데이터를 결합함으로써 임상 결정에 필요한 정보를 제공하고 있다. SPECT의 기

능 데이터와 CT영상과 결합함으로써 질병의 위치 및 범위를 더욱 잘 영상화 할 수 있다. 최근 SPECT/CT 검사의 유용성이 증가하고 있는 추세이며, 그에 따른 환자피폭도 증가하고 있다. 또한 민감도가 높은 소아 검사시 SPECT와 CT 검사에 있어 방사선 노출이 더욱 예민한 문제로 대두되고 있다. 소아검사에 있어 소아의 피폭을 감소시키기 위한 노력이 필요하며, 본 연구는 소아 검사시 우수한 영상의 질을 유지하면서최저의 흡수선량을 받을 수 있는 kVp와 mA의 설정 방향을 알아보고자 한다.

- Received: March 28, 2014. Accepted: April 21, 2014.
- Corresponding author : **Chan Rok Park**
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital,
101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-2532, Fax: +82-2-766-9083
E-mail: nadecos@naver.com

실험재료 및 방법

1. 실험 재료

1) Discovery NM/CT 670 (GE Healthcare, USA)

CT의 조건은 kVp는 80과 100, mA는 10, 15, 20, 25를 설정하여 실험을 진행하였다(Fig. 1).

2) PMMA (Polymethyl methacrylate) Phantom

직경 16 cm의 5세 소아 정도의 복부 크기의 팬텀이다. w 중앙에 1개의 hole과 주변부위에 8개의 hole이 있다(Fig. 2). 3, 6, 9, 12시 방향을 주변 방향으로 설정하고 조건을 변경하면서 각각 측정된 선량을 평균내어 중앙에서 측정된 선량과 비교하였다. 또한, PMMA phantom image로 ROI를 설정하여 각 조건에 따른 SNRD를 평가하였다.

3) CT QA Phantom

CT의 spatial Resolution 평가를 위해 MTF graph를 사용하

✓ GE Discovery NM/CT 670



Fig. 1. GE Discovery NM/CT 670 was used.

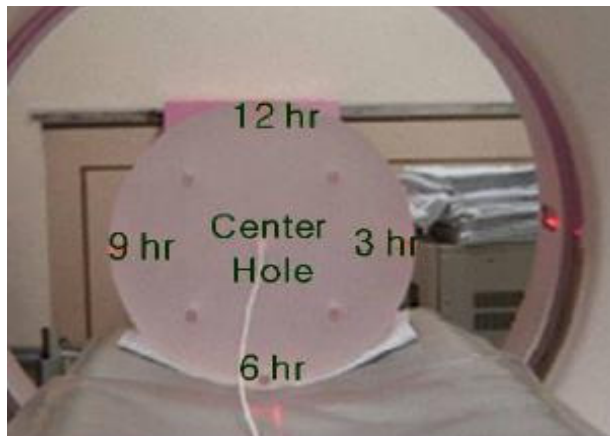


Fig. 2. PMMA Phantom was used.

였다(Fig. 3). Phantom에서 6개의 linepair (0.3125, 0.385, 0.5, 0.625, 0.833, 1 lp/mm)를 각 조건에 따라 실험을 한 후 MTF를 graph로 나타내어 평가하였다.

4) Jaszczak Phantom

SPECT의 영상 평가를 위해 Jaszczak phantom을 이용하여 각 조건에 따른 감쇠 보정된 SPECT 영상을 CNR (Contrast-to-noise ration)로 비교하였다(Fig. 4).

Phantom에서 4개의 hot sphere를 사용하였으며 0.2 L volume에 ^{99m}Tc 을 59.2 kBq/mL (1.6 $\mu\text{Ci/mL}$)을 주입하였고, 배후방사 volume 9.7 L에 ^{99m}Tc 을 6.4 kBq/mL (0.2 $\mu\text{Ci/mL}$)을 주입하였다. 모든 실험은 frame 당 17초로 설정하였고, 3도씩 360도 촬영을 하였다. LEHR collimator를 사용하였고, 128×128의 matrix size를 사용하였다. CT 조건으로는 helical



Fig. 3. CT QA phantom was used.



Fig. 4. Jaszczak phantom was used.

type과 0.8 rotation time, rotation length는 full, detector row는 16, helical Thickness는 2.5 mm, pitch는 1.375:1, speed는 27.50 mm/rot로 설정했고, DFOV는 50 mm, SFOV는 large로 설정하여 total exposure time 6.7초로 하였다. 그에 따른 SPECT/CT image 평가는 OSEM (iteration: 2, subsets: 10), butterworth filter로 재구성하였다.

2. 평가 방법

1) 선량 측정

PMMA phantom을 이용하여 center와 peripheral의 흡수선량을 CTDI100 (computed tomography dose index)을 사용해 비교하였다.¹⁾

$$CTDI_{100} = \frac{M \times Chamber\ length(cm) \times F \times TP \times CF}{N \times T}$$

M: Measured Value (R)

F: Exposure-to-dose conversion factor (0.78 rad/R in acrylic)

$$TP: Correction\ factor = \frac{(273.2 + t) (P_0)}{(273.2 + t_0) (P)}$$

CF: Chamber calibration factor

N: Number of slices

T: Slice thickness (cm)

2) SNRD (Signal to Noise Ratio Dose)

PMMA phantom을 이용해 측정한 선량값과, image에 각 조건에 대한 일정한 ROI를 그려 mean value 값과 standard

deviation 값으로 SNRD를 구하였다(Fig. 5).¹⁾

$$SNRD = \frac{Signal}{Noise \sqrt{Dose}}$$

3) CT image Resolution 평가(MTF)

GE사에서 제공한 QA CT phantom을 이용해 Resolution을 ROI를 그려 MTF로 평가하였다(Fig. 6). 6쌍의 line pair (0.3125, 0.385, 0.5, 0.625, 0.833, 1 lp/mm)를 CT 조건에 따라 다음과 같은 식으로 구하고, 그 값을 normalization 후 비교하였다(Fig. 7).²⁾

$$Resolution = \frac{|Max\ count - Min\ count|}{|Max\ count + Min\ count|}$$

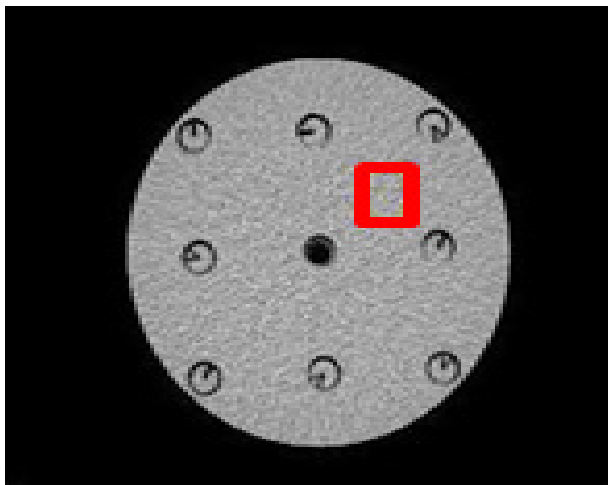


Fig. 5. This is drawing ROI for SNRD.

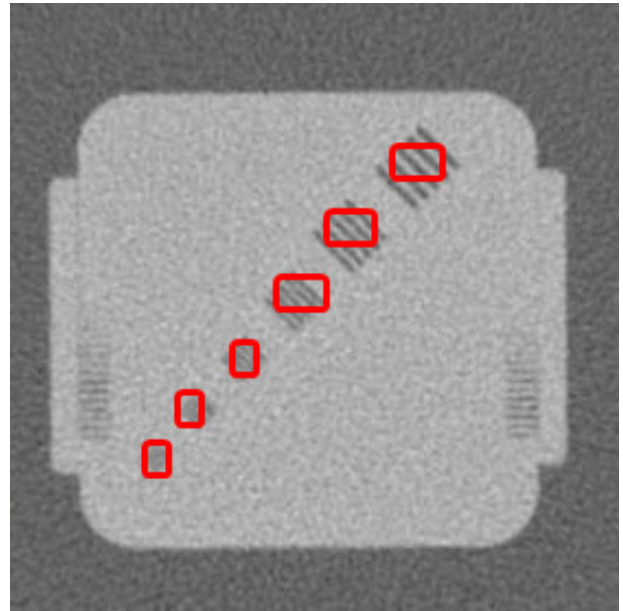


Fig. 6. This is drawing ROI for MTF.

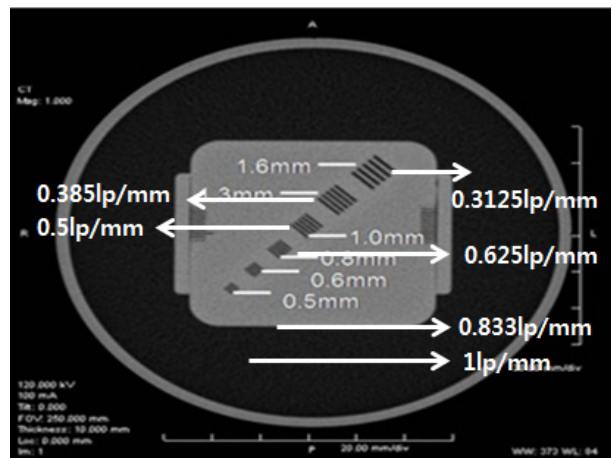


Fig. 7. This is linepair of QA CT phantom.

4) CNR (Contrast to Noise Ratio) 평가

SPECT 영상 평가를 위해 Jaszczak phantom을 이용하여 ^{99m}Tc을 4개의 hot sphere와 배후방사로 설정된 곳에 주입하고 각 조건에 따른 감쇠 보정된 SPECT영상을 구하였다. CT 조건에 따른 4개의 hot sphere에 ROI를 그림과 같이 설정한 후 다음과 같이 식으로 표현된 CNR (Contrast to Noise Ratio)로 비교하였다(Fig. 8).¹⁾

$$Q_{H,j} = \frac{C_{h,j}/C_{b,j} - 1}{a_H/a_B - 1} \times 100\%$$

QH = Contrast Ratio

CH = Hot lesion count

CB = Average of BKG

aH= Hot lesion Activity

aB= BKG lesion Activity

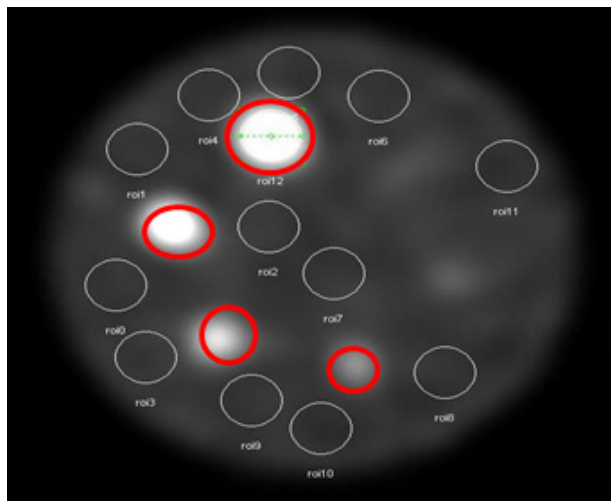


Fig. 8. 4 This is sphere ROI for SPECT image CNR estimation.

결 과

1. Radiation Dose

CT 조건이 80 kVp 에 10, 15, 20, 25 mA와 100 kVp에 10, 15, 20, 25 mA에서의 흡수선량은 중앙 hole에서 0.59, 0.87, 1.14, 1.13, 1.68, 2.25, 2.82 mGy와 주변부위 hole (3, 6, 9, 12 시 방향에서의 흡수선량의 평균)에서는 0.62, 0.91, 1.28, 1.55, 1.20, 1.82, 2.44, 3.02 mGy가 측정되었고, 중앙 hole과 주변부위 hole의 흡수선량의 차이는 각 조건마다 4.83, 4.13, 10.93, 9.17, 6.02, 7.56, 7.78, 6.69% 의 차이로 peripheral hole의 흡수선량이 평균 7% 높게 측정되었다. CT의 조건이 높아질수록 center와 peripheral (3, 6, 9 12시 방향에서의 흡수선량의 평균) 의 흡수선량은 계속 증가하는 것을 알 수 있었지만, 80 kVp 25 mA와 100 kVp 10 mA의 조건에서 tube voltage(kVp)가 변화하면서 흡수선량이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다(Table 1, Fig. 9).

2. SNRD

80 kVp에 10, 15, 20, 25 mA와 100 kVp에 10, 15, 20, 25 mA에서의 SNRD는 7.8, 8.2, 8.3, 8.8, 9.9, 9.8, 9.6이다. kVp

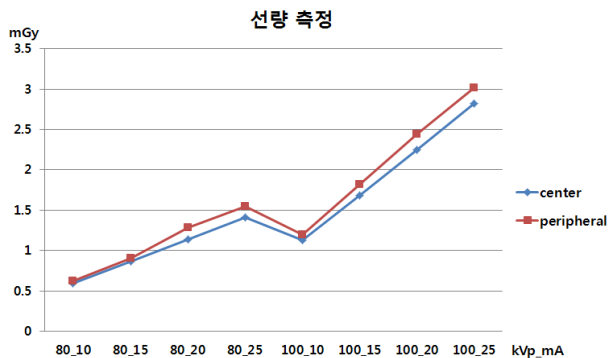


Fig. 9. This is radiation dose for CT conditions.

Table 1. The results of radiation dose according to CT conditions

Kvp_mA	80_10	80_15	80_20	80_25	100_10	100_15	100_20	100_25
Center (mGy)	0.59	0.87	1.14	1.41	1.13	1.68	2.25	2.82
Peripheral (mGy)	0.62	0.91	1.28	1.55	1.20	1.82	2.44	3.02
difference (%)	4.83	4.13	10.93	9.17	6.02	7.56	7.78	6.69

Table 2. The results of SNRD comparison

Kvp_mA	80_10	80_15	80_20	80_25	100_10	100_15	100_20	100_25
SNRD	7.8	8.2	8.3	8.8	8.8	9.9	9.8	9.6

와 mA가 변화하여도 SNRD 값은 거의 일정함으로 보였다 (Table 2, Fig. 10).

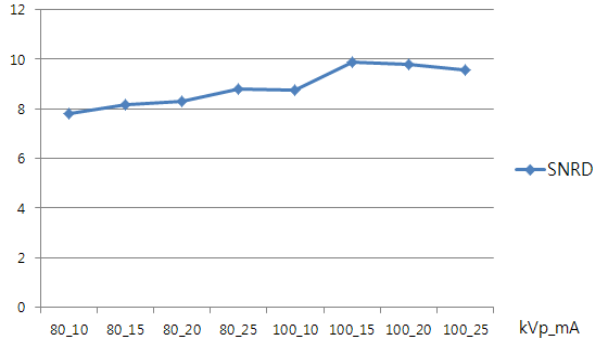


Fig. 10. This is SNRD for PMMA phantom.

3. MTF 평가

6개의 linepair (0.3125, 0.385, 0.5, 0.625, 0.833, 1 lp/mm)를 80 kVp와 100 kVp에서 MTF 10%로 평가했다(Fig. 11). 각 조건에 따른 추세선을 그려 x축의 line pair 값을 구하여 resolution을 평가한 결과 80 kVp에 10, 15, 20, 25 mA에서는 35, 45, 70, 71쌍의 line pair를 표현할 수 있고, 100 kVp에 10, 15, 20, 25 mA에서는 52, 58, 90, 110쌍의 line pair를 표현할 수 있었다. 관전압과 관전류가 증가할수록 resolution도 함께 증가하는 것을 알 수 있습니다(Table 3, Fig. 12).

4. CNR (Contrast to Noise Ratio)

80 kVp에 10, 15, 20, 25 mA와 100 kVp에 10, 15, 20, 25 mA

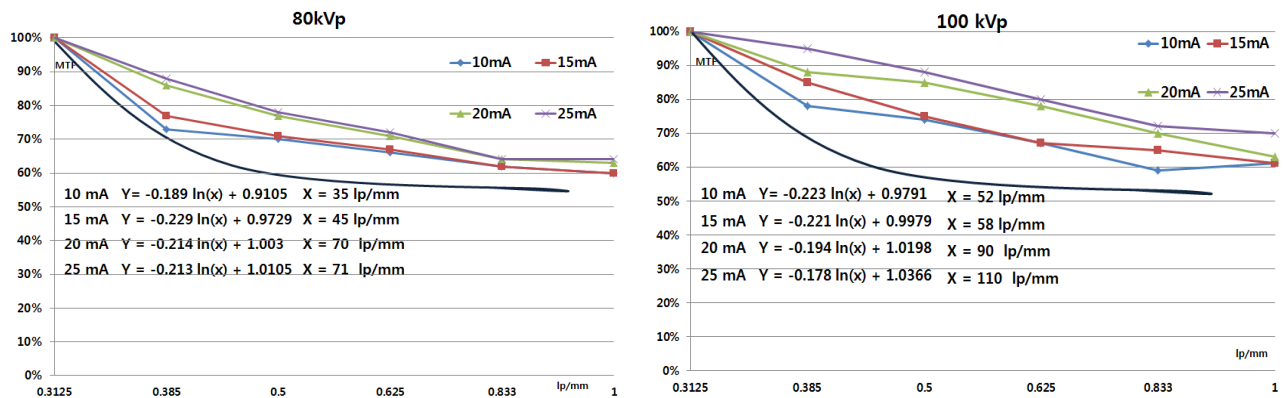


Fig. 11. These are MTF comparison according to change kVp and mA.

Table 3. The results of resolution comparison with MTF

lp/mm	10 mA		15 mA		20 mA		25 mA	
	80 kVp	100 kVp	80 kVp	100 kVp	80 kVp	100 kVp	80 kVp	100 kVp
0.3125	1	1	1	1	1	1	1	1
0.385	0.73	0.78	0.77	0.85	0.86	0.88	0.88	0.95
0.5	0.70	0.76	0.71	0.75	0.77	0.85	0.78	0.88
0.625	0.66	0.67	0.67	0.67	0.71	0.78	0.72	0.80
0.833	0.62	0.59	0.62	0.65	0.64	0.70	0.64	0.72
1	0.60	0.61	0.60	0.61	0.63	0.63	0.64	0.70

Table 4. The results of CNR comparison

Kvp_mA	80_10	80_15	80_20	80_25	100_10	100_15	100_20	100_25
1	57.8	57.2	56.8	56.7	56.7	56.7	56.7	56.8
2	52.1	52.1	52.1	52.1	52.0	52.1	52.1	52.1
3	34.1	34.0	34.0	34.1	34.1	34.2	34.2	34.2
4	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.1	24.0	24.0

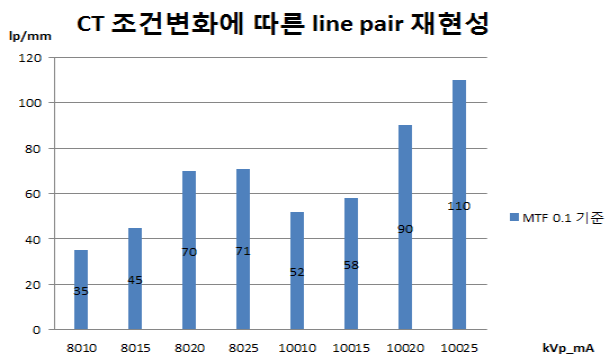


Fig. 12. This is line pair comparison according to change kVp and mA.

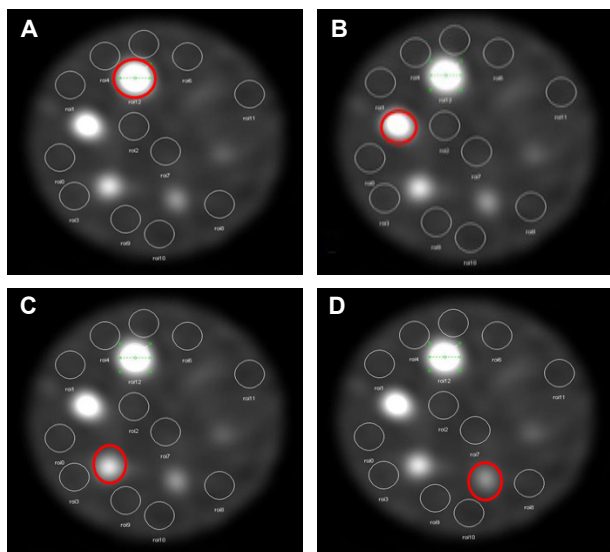


Fig. 13. This is drawing ROI of CNR estimation.

에서의 첫 번째 hot sphere에서 CNR은 57.0 ± 0.4 이고(Fig. 13-A), 두 번째 hot sphere에서는 52.0 ± 0.1 이고(Fig. 13-B), 세 번째 hot sphere는 34.0 ± 0.2 이고(Fig. 13-C), 네 번째 hot sphere는 24.0으로 나타났다(Fig. 13-D). 그에 따른 CNR평가도 각 sphere마다 유의한 차이가 없었다(Table 4, Fig. 14).

고찰 및 결론

SPECT/CT 소아검사는 SPECT의 인체 생리화적인 기능을 알 수 있고, CT의 해부학적인 위치까지 파악할 수 있어 환자의 병변을 더욱 세밀하게 파악할 수 있는 매우 유용한 장비다.³⁾ 하지만 SPECT와 CT의 이중피폭을 피할 수 없는 것 또한 현실이다. 본 연구는 소아검사에 있어 소아의 피폭을 감소시키기 위한 노력이 필요하며, 소아 검사시 우수한

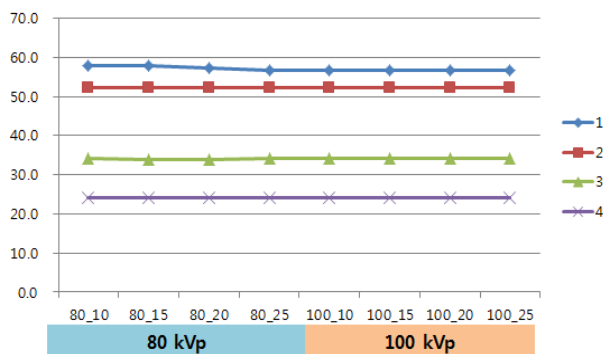


Fig. 14. This is CNR comparison of CT conditions.

영상의 질을 유지하면서 최저의 흡수선량을 받을 수 있는 kVp와 mA의 설정 방향 소아 크기의 Phantom을 이용해 알아보고자 한다.

PMMA phantom을 이용해서 소아 복부가 받는 흡수선량을 평가해 본 결과 tube voltage (kVp)와 tube current (mA)의 조건이 낮아질수록 복부가 받는 선량도 감소하는 경향이 있지만 tube voltage의 변화(80 kVp → 100 kVp)에서는 흡수선량과 SNRD 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 주변부위 흡수선량이 중심부위 흡수선량보다 평균 7% 높게 측정 되었다. SNRD 평가에서는 조건이 증가 함에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. MTF 평가에서는 기준 0.385 lp/mm으로 kVp를 평가한 결과, 100 kVp가 80 kVp보다 linepair의 재현성이 우수하게 평가되었다. SPECT image를 CNR로 평가해본 결과 4개의 sphere에서 CT 조건에 무관하게 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 PMMA phantom의 소재가 조직등가물질이기 때문에 복부에 있는 다른 장기에 미치는 영향까지 평가하기엔 부족하였고, 추후에 AAPM phantom을 이용해 더 구체적인 연구가 필요 할 것으로 사료된다. 또한, phantom의 linepair가 0.385 lp/mm 이상에서는 정확한 resolution 평가가 어려운 한계점이 있었으며 추후에 보다 세분화된 실험이 필요할 것으로 생각된다.

요 약

SPECT/CT로 소아 복부를 검사 하는데 있어 저선량 CT 조건에 따른 흡수선량을 측정하고 SPECT와 CT 영상의 질을 평가하고, 우수한 영상의 질을 유지하면서 최저의 흡수선량을 받을 수 있는 tube voltage (kVp)와 tube current (mA)의 설정 방향을 알아보는데 목적을 두었다.

장비는 Discovery NM/CT 670을 사용하였다. PMMA phantom을 이용하여 80, 100 kVp 10, 15, 20, 25 mA의 조건을 설

정하여 중심방향과 주변방향(3, 6, 9, 12시 방향의 평균)의 흡수선량을 측정하였고, 그에 따른 image를 SNRD로 평가하였다. CT QA performance phantom으로 CT image의 resolution을 MTF로 나타내었고, jaszczak phantom을 hot sphere와 배후방사의 비를 ^{99m}Tc 을 1:8로 주입하여 4개의 sphere에 대한 SPECT image를 CNR로 평가하였다.

선량측정에서는 주변방향의 선량이 중심방향 선량보다 평균 7% 높게 측정되었으며, SNRD는 조건에 따라 유의한 차이가 없었으며 Resolution 평가에서는 0.385 lp/mm 기준으로 100 kVp가 80 kVp보다 평균 12% 재현성이 우수하였으며, jaszczak phantom을 이용해서 CT를 기반으로 한 attenuation correction 된 SPECT image를 CNR로 평가한 결과 CT조건의 변화와 무관하게 4개의 sphere 모두 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 연구는 SPECT/CT 검사에서 최저의 흡수선량을 유지

하고 우수한 영상의 질을 획득하는데 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Seung-Wan Lee. Evaluation of Dose Reduction and Image Quality in Pediatric Multi-detector CT. Journal of the Korean Physical Society 2010;57:30-35 .
2. C. McCollough et al., The Measurement, Reporting and Management of Radiation Dose in CT. AAPM, State College, 2008; 7
3. 서울의대핵의학교실 핵의학 교육 연구회. 핵의학 길잡이. 고려의학; 2009. p. 13-22.