

Original Article PET/CT 검사 시 CT 피폭선량 감소 방법들의 최적화 평가

서울대학교병원 핵의학과
도용호 · 이홍재 · 김진의

Evaluation for Optimization of CT Dose Reduction Methods in PET/CT

Yong Ho Do, Hong Jae Lee and Jin Eui Kim

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

| | |
|------------------------------|--|
| Purpose | Various methods for reducing radiation exposure have been continuously being developed. The aim of this study is to evaluate effectiveness of dose reduction, image quality and PET SUV changes by applying combination of automatic exposure dose(AEC), automated dose-optimized selection of X-ray tube voltage(CAREkV) and sinogram affirmed iterative reconstruction(SAFIRE) which can be controlled by user. |
| Materials and Methods | Torso, AAPM CT performance and IEC body phantom images were acquired using biograph mCT64, (Siemens, Germany) PET/CT scanner. Standard CT condition was 120 kV, 40 mAs. Radiation exposure and noise were evaluated by applying AEC, CAREkV(120 kV, 40 mAs) and SAFIRE(120 kV, 25 mAs) with torso phantom compare to standard CT condition. And torso, AAPM and IEC phantom images were acquired with combination of 3 methods in condition of 120 kV, 25 mAs to evaluate radiation exposure, noise, spatial resolution and SUV changes. |
| Results | When applying AEC, CTDIvol and DLP were decreased by 50.52% and 50.62% compare to images which is not applying AEC. mAs was increased by 61.5% to compensate image quality according to decreasing 20 kV when applying CAREkV. However, CTDIvol and DLP were decreased by 6.2% and 5.5%. When reference mAs was the lower and strength was the higher, reduction of radiation exposure rate was the bigger. Mean SD and DLP were decreased by 2.2% and 38% when applying SAFIRE even though mAs was decreased by 37.5%(from 40 mAs to 25 mAs). Combination of 3 methods test, SD decreased by 5.17% and there was no significant differences in spatial resolution. And mean SD and DLP were decreased by 6.7% and 36.9% compare to 120 kV, 40 mAs with AEC. For SUV test, there was no statistical differences($P>0.05$). |
| Conclusion | Combination of 3 methods shows dose reduction effect without degrading image quality and SUV changes. To reduce radiation exposure in PET/CT study, continuous effort is needed by optimizing various dose reduction methods. |
| Key Words | Dose reduction, CAREdose4D, CAREkV, SAFIRE, SUV |

서론

PET/CT 검사에서 CT는 상대적으로 부족한 PET의 해부학적 정보와 해상도를 극복하고 PET영상의 감쇄보정을 위하여 사용된다. 또한 외부 감마선원을 이용한 투과영상 획득

득을 CT 영상으로 대체함으로써 영상 획득 시간의 단축이 가능하게 되었다.¹⁾ 그러나 이와 같은 많은 장점에도 불구하고 방사선 피폭에 대한 우려가 증가되고 있으며 각 제조사들은 CT에 의한 피폭선량 감소를 위한 방법들의 개발을 위하여 꾸준히 노력하고 있다. 다양한 CT 피폭선량 감소 방법 중 automatic exposure control(AEC)는 각 환자의 형태에 따라 적정 선량을 조사함으로써 각 slice에서 적정 영상의 질의 획득과 artifact, 피폭선량 감소가 가능하며 X-ray tube 부하의 감소로 인한 tube 사용 기간이 증가하게 된다.²⁾ Automated

• Received: October 02, 2015 Accepted: October 13, 2015
• Corresponding author: **Yong Ho Do**
• Department of nuclear medicine, Seoul National University Hospital, 28 Yeongondong, Jongno-gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel.: +82-2-2072-3937, Fax: +82-2-747-0208
E-mail: yhd_1981@naver.com

dose-optimized selection of X-ray tube voltage(CAREkV)는 환자의 체적 또는 contrast enhanced study에서 관전압의 최적화를 통하여 100 kV 또는 80 kV 조사 시 AEC와 함께 적용되어 저 관전압에 따른 영상의 질 저하를 보상함과 동시에 contrast enhanced study에서 iodine signal 증가와 피폭선량 감소를 목적으로 하는 방법이다.³⁻⁴⁾ Sinogram affirmed iterative reconstruction(SAFIRE)은 예측된 데이터와 측정된 데이터를 반복적으로 비교하는 iterative 재구성 방법을 이용하여 raw data 영역에서는 artifact 감소, image 영역에서는 노이즈 감소를 시행하며 저 선량을 조사하였을 때 증가하는 노이즈를 억제함으로써 영상의 질을 개선시키고 피폭선량 감소를 유도하는 방법이다.⁵⁻⁸⁾ 본 논문에서는 다양한 CT 피폭선량 감소 방법 중 사용자에 의해 parameter 변경이 가능한 3가지 방법인 AEC, CAREkV, SAFIRE 각 적용 시와 세 가지 방법의 조합에 따른 피폭선량 감소 효과와 영상의 질 변화유무 그리고 세 가지 방법의 적용에 따른 PET SUV 변화 유무를 평가하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험 장비 및 재료

실험에 이용된 장비는 Biograph mCT64 (Siemens medical system, Germany)이며(Fig. 1) 실험에 사용된 phantom은 영상의 질 평가를 위한 AAPM(the american association of physicists in medicine) CT performance phantom(Fig. 2)과 피폭선량 비교를 위하여 anthropomorphic head, chest, pelvis phantom(canadian scientific products, london, ontario, canada)을 torso 모형으로 접합하여 사용하였으며(Fig. 3) PET SUV 변화 유무를 평가하기 위한 NEMA IEC body phantom(Fig. 4)을 사용하였다.



Fig. 1. Siemens Biograph mCT64 PET/CT Scanner was used for acquisition

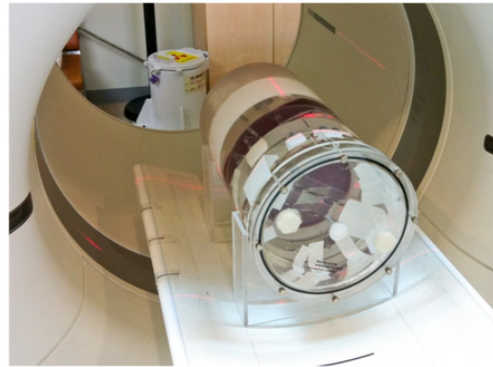


Fig. 2. AAPM CT performance phantom was used for evaluating image quality



Fig. 3. Anthropomorphic phantom was used for evaluating exposure dose comparison

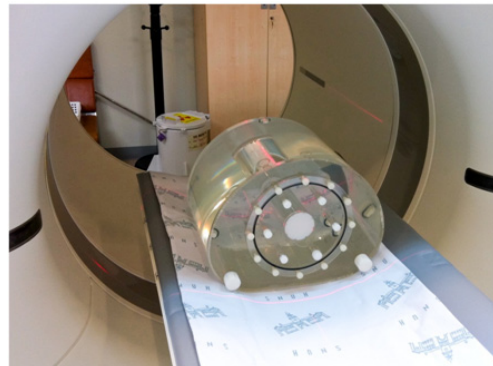


Fig. 4. IEC body phantom was used for evaluating SUV changes

3. 실험 방법

절편 두께 3 mm, FOV(field of view) 500 mm, pitch 1.2 조건은 AEC, CAREkV, SAFIRE 각 실험과 3가지 방법의 조합의 실험에서 동일하게 적용되었다. 피폭 선량 비교를 위하여 anthropomorphic head, chest, pelvis phantom을 torso 모형으로 접합하여 각 획득 영상에서의 DLP(dose length product) mGycm을 비교하였으며 torso phantom을 이용한 mAs 변화

와 노이즈 level 평가를 위하여 획득 영상의 모든 절편에서 spine region을 따라 0.56 sq.cm의 ROI(region of interest)를 설정하여 standard deviation의 변화를 평가하였다(Fig. 5).

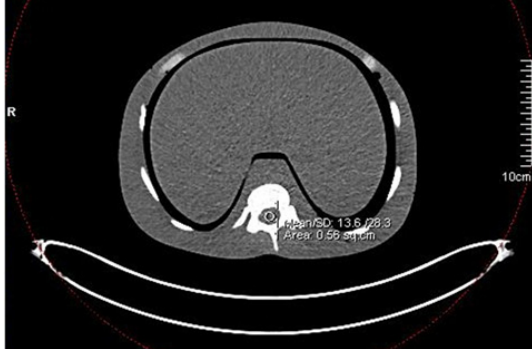


Fig. 5. ROIs of 0.56 sq.cm were drawn in every slices for evaluating noise level

1) AEC

120 kV, 40 mAs 조건에서 AEC 적용, 미적용 시 torso phantom에서 mAs 변화와 피폭선량이 비교 평가되었다.

2) CAREkV

(1) CAREkV 적용에 따른 피폭선량, noise level 평가

120 kV, 40 mAs 조건에서 CAREkV 적용, 미적용 시 torso phantom에서 mAs 변화와 피폭선량, 노이즈 level이 비교 평가 되었다.

(2) Reference mAs 별 CAREkV strength 변화에 따른 피폭선량 변화 평가

120 kV 조건에서 85 mAs부터 10 mAs까지 25 mAs씩 감소 시켜 각 mAs에서 strength 3, 5, 7, 11 조건으로 torso phantom 스캔 후 피폭선량 변화를 평가하였다. CAREkV strength(3: non-contrast scan, 7: soft tissue with contrast scan, 11: vascular scan)는 각 검사에서 최적화된 CNR(contrast to noise ratio)을 나타낼 수 있도록 설정되어 있다(Fig. 6).

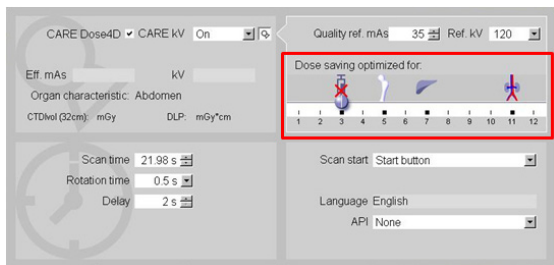


Fig. 6. Strength of CAREkV displays optimised CNR in CT image

(3) Strength 3 기준 reference mAs 변화에 따른 피폭선량 변화 평가

120 kV, CAREkV strength 3 조건에서 210 mAs부터 10 mAs까지 25 mAs씩 감소시켜 torso phantom 스캔 후 피폭선량 변화를 평가하였으며 대부분의 PET/CT 검사에서는 non-contrast로 검사가 진행되므로 strength 3이 채택된다.

3) SAFIRE

SAFIRE 적용 유무 시 유사한 노이즈 level을 나타내는 조건인⁹⁾ 120 kV, 40 mAs SAFIRE 적용 시와 120 kV, 25 mAs 미 적용 시 torso phantom 스캔 후 피폭선량 변화와 노이즈 level 이 비교 평가 되었다.

4) AEC, CAREkV, SAFIRE 조합

120 kV, 40 mAs AEC 적용시와, 120 kV, 25 mAs AEC, CAREkV, SAFIRE 적용 시 torso phantom scan 후 피폭 선량 과 노이즈 level이 평가 되었다. 동일 조건에서 AAPM CT performance phantom을 이용하여 6시 방향 4분의 1지점에 16.47 sq.cm의 사각형 ROI를 설정하여 노이즈 평가가 시행 되었으며(Fig. 7) window width: 300, level: -100으로 설정 후 공간 분해능 평가를 시행하였다(Fig. 8).

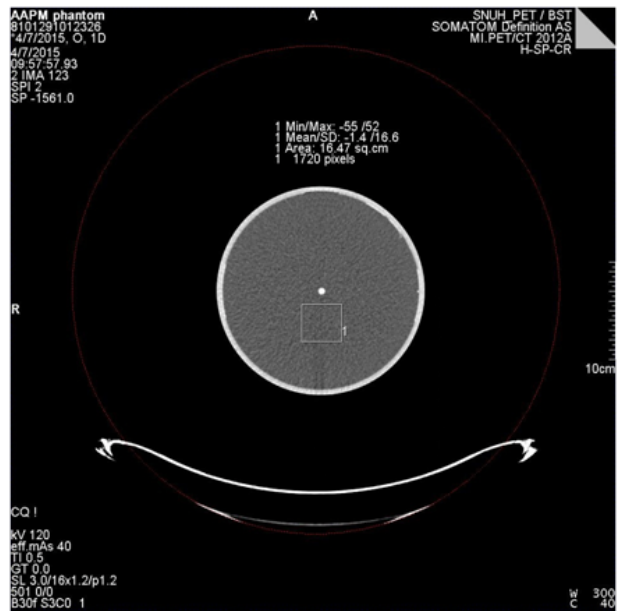


Fig. 7. Size of 16.47 sq.cm ROI was drawn in AAPM phantom image for evaluating noise value

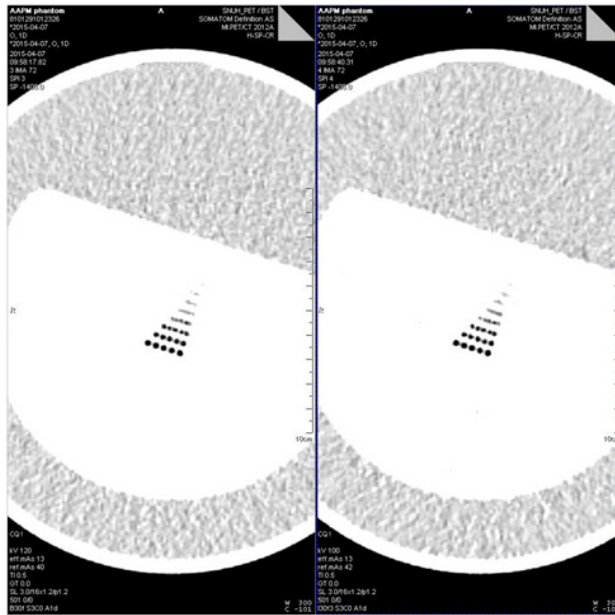


Fig. 8. Window width: 300, level: -100 was set in AAPM phantom image for evaluating spatial resolution

4) AEC, CAREkV, SAFIRE 적용에 따른 SUV 변화 평가
IEC body phantom에 ¹⁸F-FDG 55.5 MBq을 주입하여 background와 hot lesion의 비율이 1:8이 되도록 제작 후 120 kV, 40 mAs 미적용 시, 120 kV, 40 mAs AEC 적용 시와 120 kV, 25 mAs AEC, CAREkV, SAFIRE 조합의 적용 시 SUV 변화 유무를 평가하였으며 PSF(point spread fuction)+TOF (time of flight), iteration 2, subsets 21, matrix size 200, gaussian 5 mm filter의 parameter가 PET 영상 재구성시 적용되었다. 영상 재구성 후 동일한 slice에서 동일 VOI(volume of interest)를 설정하여 SUV 측정 후 SPSS version 18.0 (SPSS Inc. USA)을 이용하여 통계적으로 분석하였다.

결 과

1. AEC

120 kV, 40 mAs AEC 를 적용하지 않았을 때 torso phantom 의 모든 슬라이스에서 동일한 mAs가 조사 되었지만 AEC 적용 시 피폭선량 감소와 각 slice에서 적정 영상의 질을 나타낼 수 있도록 torso phantom 각 slice의 감쇄 정도에 따라 tube load가 유동적으로 변화하였다(Fig. 9). AEC 미적용 시 대비 AEC 적용 시 mean mAs 52.50% 감소, CTDIvol 50.52% 감소 하였으며 DLP는 50.62% 감소하였다(Table 1).

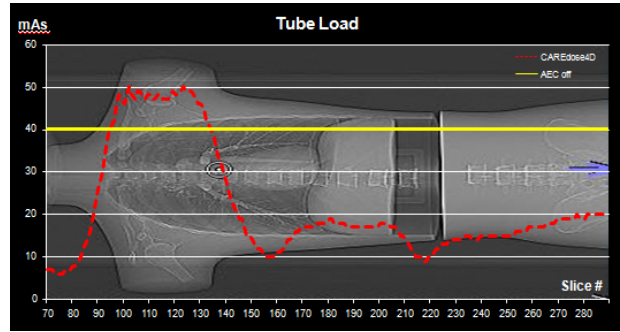


Fig. 9. Tube load changed according to shape of phantom when applied AEC

Table 1. Mean mAs, CTDIvol and DLP were decreased when applied AEC compared to fixed mAs

| AEC setting | Mean mAs | CTDIvol (mGy) | DLP (mGycm) |
|-------------------|----------|---------------|-------------|
| AEC OFF | 40.00 | 2.89 | 324 |
| AEC ON | 19.00 | 1.43 | 160 |
| Rate of change(%) | -52.50 | -50.52 | -50.62 |

2. CAREkV

1) CAREkV 적용에 따른 피폭선량, 노이즈 level 평가
120 kV가 조사된 CAREkV 미적용 시 대비 CAREkV 적용 시 phantom의 체적이 고려되어 100 kV가 조사되었으며 저하된 kV에 의한 영상의 질을 보상하기 위하여 mAs가 증가 되었으며(Fig. 10) mAs 보상에 따라 CAREkV 적용, 미적용 시 유사한 노이즈 level을 보였다.(Fig. 11) CAREkV 적용 시 mAs 보상에 따라 mean mAs는 61.5% 증가하였지만 20 kV 감소에 따라 CTDIvol 6.2%, DLP는 5.5% 감소하였다. 영상의 질 보상에서 증가된 mAs에 의하여 mean SD는 10% 증가 하였다(Table 2).

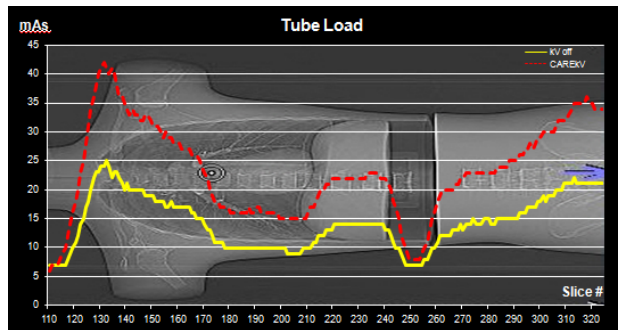


Fig. 10. mAs increased for compensating low image quality by 100 kV

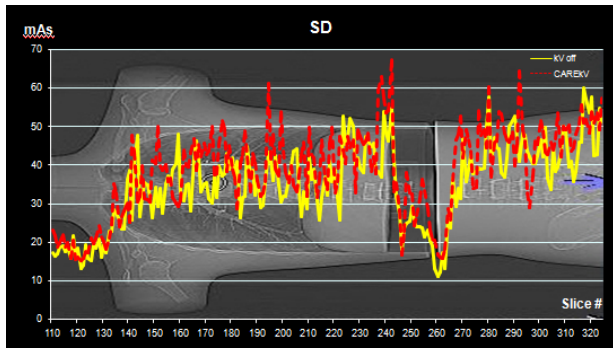


Fig. 11. Both of test(CAREkV on and off) shows similar noise level by mAs compensation

Table 2. When applied 100 kV, mean mAs and SD increased. However, CTDIvol and DLP decreased contrastively

| CAREkV setting | Mean mAs | CTDIvol (mGy) | DLP (mGycm) | Mean SD |
|-------------------|----------|---------------|-------------|---------|
| CAREkV OFF | 13 | 0.97 | 109 | 35.14 |
| CAREkV ON | 21 | 0.91 | 103 | 38.69 |
| Rate of change(%) | 61.50 | -6.20 | -5.50 | 10.10 |

2) Reference mAs 별 CAREkV strength 변화에 따른 피폭선량 변화 평가

Reference mAs(ref.mAs)별 CAREkV strength 변화에 따른 DLP 변화에서 ref.mAs가 감소할수록 동일 ref.mAs에서 CAREkV off 대비 CAREkV의 strength가 증가할수록 DLP 감소율은 증가하였다(Table 3).

Table 3. DLP decreased when ref.mAs decreased and strength of CAREkV was increased

| Reference mAs | Strength of CAREkV | Rate of change (%) -DLP |
|---------------|--------------------|-------------------------|
| 85 mAs | 3 | 0.00 |
| | 5 | -8.50 |
| | 7 | -16.99 |
| | 11 | -45.10 |
| 60 mAs | 3 | 0.00 |
| | 5 | -8.37 |
| | 7 | -18.60 |
| 35 mAs | 3 | -1.57 |
| | 5 | -10.24 |
| | 7 | -19.69 |
| | 11 | -43.31 |
| 10 mAs | 3 | -24.07 |
| | 5 | -29.63 |
| | 7 | -30.37 |
| | 11 | -31.48 |

3) Strength 3 기준 reference mAs 변화에 따른 피폭선량 변화 평가

Non-contrast scan에서 최적화된 CNR을 보이는 CAREkV strength3에서 ref.mAs가 감소할수록 DLP 감소율은 증가하였다(Fig. 12).

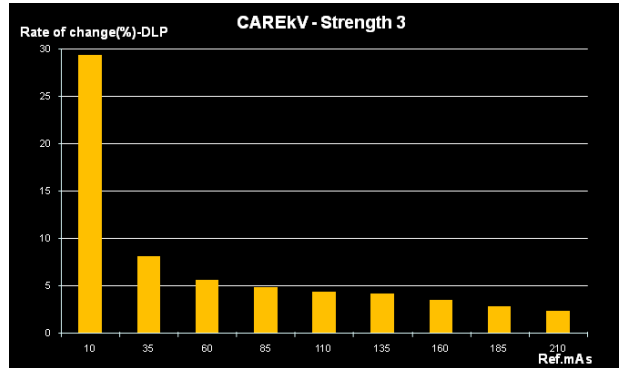


Fig. 12. DLP's rate of change increased when ref.mAs is lower

3. SAFIRE

120 kV, 40 mAs SAFIRE 미적용 시와 25 mAs 적용 시 유사한 노이즈 level과 패턴을 보였으며(Fig. 13) SAFIRE 적용 시 미적용 대비 mean mAs 37.5%, CTDIvol 38.1%, DLP 38% 감소하였으며 15 mAs가 감소되었음에도 불구하고 mean SD는 2.2% 감소하였다(Table 4).

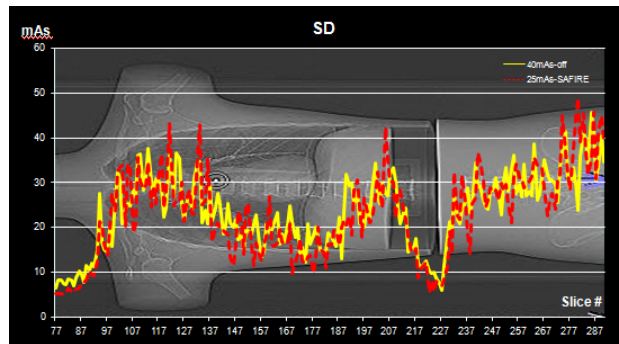


Fig. 13. Both of test(SAFIRE on and off) shows similar noise level in spite of decreasing 15 mAs

Table 4. When applied SAFIRE, mean mAs, CTDIvol, DLP and mean SD decreased

| SAFIRE setting | Mean mAs | CTDIvol (mGy) | DLP (mGycm) | Mean SD |
|-------------------|----------|---------------|-------------|---------|
| SAFIRE OFF | 40.00 | 2.89 | 324 | 23.49 |
| SAFIRE ON | 25.00 | 1.79 | 201 | 22.96 |
| Rate of change(%) | -37.50 | -38.10 | -38.00 | -2.20 |

4. AEC, CAREKV, SAFIRE 조합

1) Torso phantom을 이용한 3가지 방법 조합에 따른 mAs 변화, 피폭선량, 노이즈 level 평가

CAREkV 적용 시 low kV 적용에 대한 영상의 질 보상을 위한 automatic mAs 증가를 위하여 AEC가 함께 적용되어야 한다. 이를 고려할 때, 120 kV, 40 mAs AEC 적용 시와 120 kV, 25 mAs AEC, CAREkV, SAFIRE 조합의 적용 시 3가지 방법의 조합에서 100 kV 조사에 따른 영상의 질 보상을 위하여 mAs가 증가하였지만 SAFIRE 적용에 따른 영상의 질 향상을 고려하여 15 mAs를 감소시켜 조사하였음에도 불구하고 AEC만 적용 시와 3가지 방법의 조합 시 유사한 tube load와 pattern을 나타내었으며 shoulder 부분에서는 세 가지 조합에서의 tube load가 증가하였다.(Fig. 14) 노이즈 level 평가에서는 3가지 방법의 조합에서 AEC만 적용 시와 유사한 노이즈 level과 패턴을 보였다.(Fig. 15) 3가지 방법의 조합 적용 시 AEC만 적용 시 대비 kV 16.7% 감소, mean mAs 5.3% 증가, CTDIvol 37.1% 감소, DLP 36.9% 감소하였으며 mean SD는 6.7% 증가하였다(Table 5).

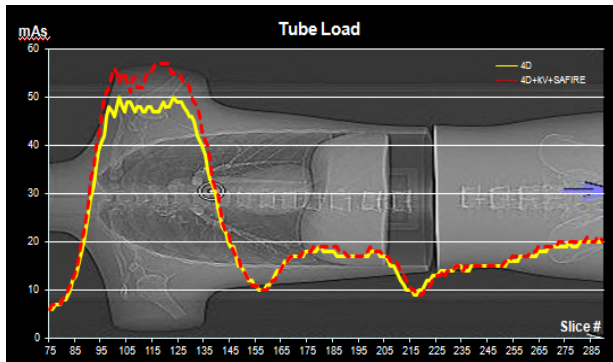


Fig. 14. Both of test(only AEC on and combination of 3 methods) shows similar tube load except for shoulder region

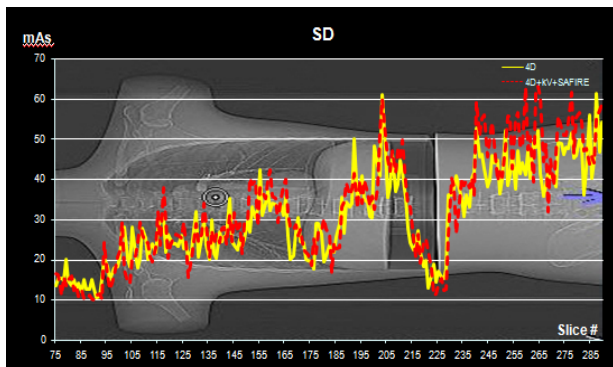


Fig. 15. Both of test(only AEC on and combination of 3 methods) shows similar noise level and pattern

Table 5. When applied combination of 3 methods, kV, CTDIvol and DLP decreased but mean mAs and mean SD increased

| Methods setting | kV | Mean mAs | CTDIvol (mGy) | DLP (mGycm) | Mean SD |
|-------------------|--------|----------|---------------|-------------|---------|
| SAFIRE OFF | 120 | 19 | 1.43 | 160 | 30.69 |
| SAFIRE ON | 100 | 20 | 0.90 | 101 | 32.73 |
| Rate of change(%) | -16.70 | 5.30 | -37.10 | -36.90 | 6.70 |

(2) AAPM CT performance phantom을 이용한 3가지 방법 조합에 따른 노이즈, 공간 분해능 평가

노이즈 평가 실험에서 SD는 120 kV, 40 mAs AEC 적용 시와 120 kV, 25 mAs 3가지 방법의 조합에서 27.1, 25.7로 3가지 방법의 조합에서 선량 감소에도 불구하고 SD가 낮게 측정되어 영상의 질이 개선된 것으로 나타났다. 분해능 평가에서는 두 가지 방법 모두에서 1.25 mm line의 구분이 가능하여 동일한 공간 분해능을 나타내었다.

5. AEC, CAREKV, SAFIRE 적용에 따른 SUV 변화 평가

피폭선량 감소 방법들의 적용에 따른 SUV 변화 평가 실험에서는 120 kv, 40 mAs 모든 방법 미적용 시, 120 kV, 40 mAs AEC만 적용 시, 120 kV, 25 mAs AEC, CAREkV, SAFIRE 적용 시 emission 1분, 2분, 3분, 4분에서 SUV는 P-value가 0.05 이상으로 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Fig. 16).

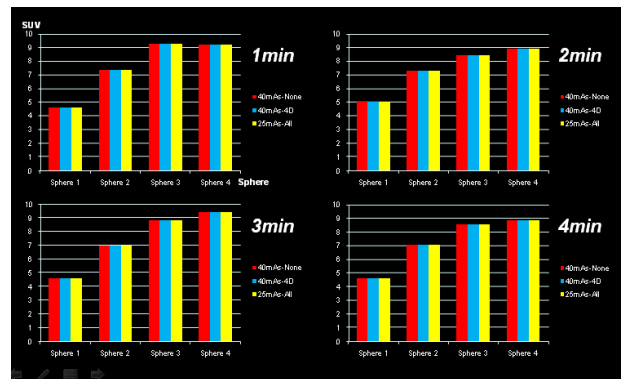


Fig. 16. There were no significant differences by applying AEC, CAREKV and SAFIRE in SUV test

고 찰

방사선 피폭을 고려하여 실험대상이 다양한 체형과 감쇄를 가진 임상 object가 아닌 표준체형의 phantom을 이용한 실험으로 국한되어 소아 등 다양한 크기와 체형의 팬텀을 이용한 실험이 추가적으로 필요할 것으로 생각된다. 또한 각 병원에서 사용되는 scanner 제조사에 따른 피폭선량 감소 방법들과 검사 시 적용되는 kV, mAs 조건이 다양하다는 점에서 각 병원 실정에 맞는 다양한 조건에 대한 실험이 지속적으로 진행 되어 임상 검사 시 환자의 피폭선량 저감화와 함께 최적의 질을 가진 영상을 제공할 수 있도록 노력하여야 할 것으로 생각된다.

결 론

본 논문의 실험에서 AEC, CAREkV, SAFIRE 각각의 실험에서 모두 피폭선량 감소 효과를 보였으며 3가지 방법 조합의 적용 시 선량 감소와 동시에 영상의 질 저하를 나타내지 않는 적정 kV, mAs 조건을 확인 할 수 있었다. 적정 kV, mAs 조건에서 3가지 방법의 조합 적용 시 영상의 질 저하와 SUV 변화 없이 AEC만 적용 시 대비 36.9%의 선량감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 각 병원의 선량 조건에 따라 각 제조사들의 피폭 선량 감소 방법들의 최적화를 통하여 환자 피폭선량 저감화를 위한 지속적인 노력이 필요하며 특히 방사선 감수성이 높은 소아 환자에 적극적으로 적용되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

PET/CT 검사 시 피폭 선량 감소를 위한 방법들이 지속적으로 개발되고 있다. 본 논문에서는 사용자에게 의해 parameter 변경이 가능한 3가지 방법인 automatic exposure control(AEC), automated dose-optimized selection of X-ray tube voltage(CAREkV), sinogram affirmed iterative reconstruction(SAFIRE) 적용 시 각 방법의 적용 시와 3가지 방법의 조합에 따른 피폭선량 감소효과와 영상의 질 그리고 SUV 변화 유무를 평가하였다.

Bograph mCT64 (Siemens, Germany)장비를 사용하여 anthropomorphic head, chest, pelvis phantom을 torso 모형으로 접합하여 스캔하였다. 120 kV, 40 mAs 조건으로 AEC의 적용 유무와 120 kV, 40 mAs AEC 조건으로 CAREkV의 적용 유무에 따른 피폭 선량 감소 효과를 평가 하였다. 120 kV,

25 mAs SAFIRE 조건에서 영상을 획득하여 120 kV, 40 mAs SAFIRE 미적용 시 대비 노이즈와 피폭선량 감소효과가 평가되었다. 120 kV, 40 mAs AEC 적용, 120 kV, 25 mAs 3가지 방법의 조합 조건으로 AAPM performance, anthropomorphic, IEC body phantom을 스캔하여 노이즈, 공간 분해능, 피폭선량 감소효과 그리고 PET SUV의 변화 유무를 평가하였다.

AEC 적용 시, 미적용 대비 CTDIvol 50.52%, DLP 50.62% 감소하였다. CAREkV 적용 시 100 kV가 적용됨에 따라 mAs가 61.5% 증가하였으나 CTDI 6.2%, DLP 5.5% 감소하였다. Reference mAs를 낮게 지정할수록, strength값을 높게 지정할수록 피폭선량 감소 효과는 증가하였다. SAFIRE의 경우 40 mAs에서 25 mAs로 tube current를 37.5% 감소시켰음에도 불구하고 mean SD 2.2%, DLP 38% 감소하였다. AAPM phantom에서는 3가지 방법의 조합 시 AEC 대비 SD는 5.17% 감소하였으며 공간 분해능의 경우 유의한 차이가 없었다. Torso phantom의 경우 3가지 조합에서 AEC 대비 mean SD 6.7% 증가, DLP 36.9% 감소하였으며 IEC phantom 실험에서 PET SUV는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

본 논문에서 CT선량 감소를 위한 각 방법들 모두 피폭 선량 감소 효과를 보였으며 3가지 방법의 조합을 통하여 화질 저하와 PET SUV 변화 없이 AEC만 적용 시 대비 36.9%의 선량감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 선량 감소 방법들의 최적화를 통하여 환자 피폭선량 저감화를 위한 지속적인 노력이 필요하며 특히 방사선 감수성이 높은 소아 환자에 적극적으로 적용되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 고창순. 고창순 핵의학. 제3판. 고려의학. 2008;86.
2. Keat N. CT scanner automatic exposure control systems. MHRA evaluation report 05016 (February 2005). London: *Medicines and Healthcare products Regulatory Agency*; 2005.
3. Heyer CM, Mohr PS, Lemburg SP, Peters SA, Nicolas V. Image quality and radiation exposure at pulmonary CT angiography with 100- or 120-kVp protocol; prospective randomized study. *Radiology*. 2007 Nov;245(2):577-83.
4. Bischoff, B, et al. Impact of a Reduced Tube Voltage on CT Angiography and Radiation Dose; Results of the PROTECTION I Study. *JACC Cardiac Imaging*. 2009 Aug;2(8):940-6.

5. SAFIRE: Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction. Siemens Healthcare; A91CT-23013-07C1-7600. 2010.
6. Bruder H, Raupach R, Sunnegardh J, Stierstorfer K, Flohe T. Iterative Reconstruction in Image Space Using a Raw Data Based Non-Isotropic Noise Model. *ECR* 2011.
7. Bruder H, Raupach R, Sunnegardh J, Stierstorfer K, Flohr T. Translation of Statistical Iterative Reconstruction into Non-Linear Image Processing. *ECR* 2011.
8. Baker ME, Primak A, Obuchowaski NA, Einstein DM, Herts BR, Remer EM, et al. Half-Dose Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction(DAFIRE) vs Full-Dose and Half-Dose Filtered Back Projection Abdominal CT. L-GIS-TH7B, *RSNA* 2011.
9. Yong Ho Do, et al. Reducing radiation exposure using iterative statistical CT reconstruction in PET/CT and its impact on PET SUV. *SNMT* 2012.