

Original Article

PET/CT 검사에서 선량변화와 QAC기법 적용 시 Metal Artifact 유무에 따른 SUV 비교분석

가톨릭대학교 서울성모병원¹, GE Healthcare Korea²

윤선희¹ · 김양중² · 강영직¹ · 박수영¹ · 김호신¹ · 류형기¹

A Comparative Analysis According to a Presence or Absence of Metal Artifacts when a Dose Change and QAC Technique are Applied in PET/CT Tests

Sun-Hee Yun¹, Yang-Jung Kim², Young-Jik Kang¹, Su-Young Park¹, Ho-Sin Kim¹ and Hyoung-Ki Ryu¹

¹ Department of Nuclear Medicine, Seoul St. Mary's Hospital, Catholic Medical Center

² GE Healthcare Korea

Purpose

As medical radiation exposures on patients are being social issues an interest in a relief of radiation exposures on patients is increasing. Further, there are many cases where some patients among who are getting PET/CT tests choose to get implanted with metal artifacts in their bodies. This study is to find out effects of presence or absence of metal artifacts when dose change or CT attenuation correction for the relief of radiation exposures are applied using phantoms through changes in standard uptake value (SUV).

Materials and Methods

GE company's Discovery 710 machine was used for PET/CT test equipments. We used NEMA IEC body phantoms. We also used screw and mesh cage made of titanium which are used in real clinical processes for the metal artifacts. Two experiments were conducted: One is to test and measure repeatedly about SUV about differences in CT attenuation corrections according to dose changes and another is to do the same procedure for SUV about the presence and absence of the metal artifacts. We injected ¹⁸F-FDG into NEMA IEC body phantoms with a TBR ratio of 4:1 and then put the metal material into the transformation phantoms. Once a scanning for the metal artifacts was done we eliminated the metal artifacts and went on non-metal artifacts. For the each two experiments, we scanned repeatedly with CT kVp (140, 120, 100, 80) and mA (120, 80, 40, 20, 10) for an experimental condition. For PET, we reconstructed each with standard AC (STD) technique and quantitation achieved consistently QAC) technique among CT attenuation correction methods. We conducted a comparative analysis on measured average values and variations which were measured through repeated measure of SUV of region 1, 2, 3 spheres for each conditions of non-metal /metal scan.

Results

For each kVp, 120, 80, 40 (mA) of non/metal (screw, mesh cage) showed low frequency of fluctuation rates of above 2%. In 20, 10 mA above 2% of fluctuation rates appeared in high frequency. Also, when we compared the fluctuation rates of STD and QAC techniques in non/metal (screw, mesh cage) tests QAC technique showed about 1-10% of differences for each conditions compared to STD technique. In addition, metal types did not have significant effects on fluctuation rates.

Conclusion

We confirmed that SUV fluctuation rates for both STD and QAC techniques increase as dosage is lower. We also found that the SUV of PET data was maintained steadily in a low dosage for QAC technique when compared with STD technique. Hence, when the low dosage is used for the relief of radiation exposures on patients QAC technique may be exploited helpfully and this could be applied in the same way for patients with metal artifacts implanted in their bodies.

Key Words

PET/CT, dose change, STD, QAC, metal artifact

• Received: 2015. 4. 3 Accepted: 2015. 4. 30
• Corresponding author: Sun-Hee Yun
Department of Nuclear Medicine, Seoul St. Mary's Hospital,
Catholic Medical Center, Banpo 4-dong, Seocho-gu, Seoul,

137-701, Korea
Tel: +82-2-2258-1566, Fax: +82-2-2258-1574
E-mail: odl84lbo@naver.com



Fig. 1. PET/CT Discovery 710 (GE Healthcare) .

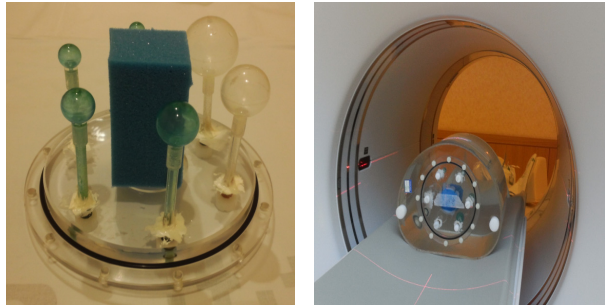


Fig. 2. NEMA IEC body phantom were used.



Fig. 3. Metal material (screw and mesh cage).

서 론

양전자 방출 단층 촬영검사(Positron Emission Tomography, PET)는 양전자를 방출하는 방사성동위원소에 포도당 유사체를 표지한 ^{18}F -FDG로 포도당 대사 이상에 대한 체내분포를 영상화하여 해부학적 변화가 생기기 전에 기능적인 이상을 발견함으로써, 조기에 질환을 진단하는 기능적 혹은 생리적 영상기법이다. 현재는 PET/CT개발로 PET의 기능적인 영상에 CT의 해부학적인 영상의 장점을 fusion 함으로써 좀더 정확하게 병변을 국소화하고자 하는 노력의 일환으로써 정확한 검사, 수술결정 및 방사선 치료부위나 조직검사부위를 결정하는데 유용하며, 주로 악성종양, 간질, 알츠하이머치매를 비롯한 각종 질환에 활용되고 있다^{1,2)}. 그러나, 최근 PET/CT 의료계의 동향은 환자피폭이 사회적 이슈가 되면서, 환자의 피폭경감에 대한 관심이 증가하고 있으며, 피폭감소를 위한 다양한 방안이 대두되고 있다. 그 대안으로 CT dose 감소에 관심을 두고 있다³⁾. 이러한 대안에는 장점에 반하는 단점을 염두해야 한다. 환자피폭을 위해 CT선량을 감소하는데 있어서 영상의 질이 저하되는 부분이 발생하기 때문이다. 현재 PET/CT장비는 장비회사마다 환자피폭경감에 대한 방안으로 CT dose에 대해 다양한 방법을 제시하고 있으며, 선량저감을 위해 꾸준히 개발 중이다. GE healthcare

사의 경우, CT 선량을 낮춤으로써 PET recon 감쇠보정의 영상의 질을 보완하고자, Quantitation Achieved Consistently (QAC)법을 제시하였다. QAC법은 차세대 PET 감쇠보정 알고리즘으로써, 저선량 사용시 PET image의 재구성에 사용되는 감쇠계수의 보정기술을 이용하여 low dose, 즉 kVp와 mA를 줄여서 사용하는 것을 가능하게 하는 재구성(reconstruction: recon) 기법이다⁴⁾. 따라서, 본 연구는 적절한 선량 및 영상의 질의 저하를 감소시킬 수 있는 대안에 대해 알아보하고자 하였으며, 또한, PET/CT환자 중 체내에 금속물질을 삽입하고 있는 경우 선량변화 및 적절한 CT 감쇠보정법 적용 시 Metal artifact 유무에 따른 영향을 표준섭취계수(Standard Uptake Value: SUV)의 변화를 통해 알아보고자 한다⁵⁾.

실험재료 및 방법

1. PET/CT장비 및 Phantom 제작

본 연구에 사용한 장비는 PET/CT Discovery 710 (GE Healthcare, USA)을 사용하였으며, 장비의 crystal은 lutetium based scintillator (LBS)의 섬광체로 구성되어 있다(Fig. 1). 팬텀은 NEMA IEC body phantom을 이용하였으며, phantom 내의 6개의 sphere의 정중앙에 spongy를 부착하고, spongy내에 금속물질을 위치시킬 수 있도록 자체 변형 제작하였다(Fig. 2). 또한, 연구에 사용된 metal material은 실제 정형외과 임상에서 사용되는 screw와 mesh cage를 이용하였다(Fig. 3).

2. 검사 방법

본 연구는 자체 제작한 phantom을 이용하여 두 번의 실험

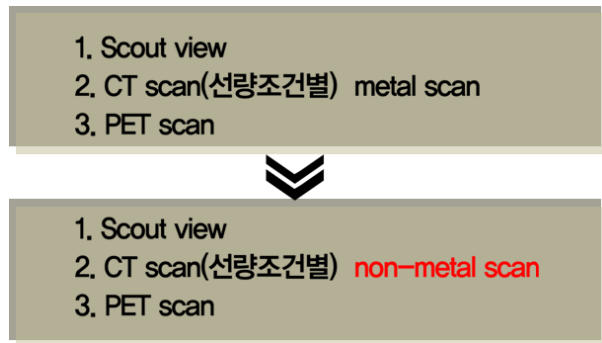


Fig. 4. The procedure of examination.

을 진행하였다. 자체 제작한 팬텀에 금속물질의 유·무에 따라 non-metal/metal의 경우를 각각 측정하였다. 검사에 대한 protocol을 설정하였으며, 변형phantom을 PET/CT검사 table에 위치시킨 뒤, 동일한 위치의 scan을 진행하기 위해 laser point를 표식하고 진행하였다. 이는 metal을 삽입하기 전인 non-metal 영상과 metal을 삽입한 뒤 얻은 metal 영상의 위치적인 변수를 최소화하고자 함이었다. 검사의 진행과정은 먼저 scout view를 얻은 뒤, scan range를 설정하고, CT scan을 진행한 뒤 PET image를 얻었다. 각 실험 당 non-metal scan과 metal scan의 두 번의 검사를 각각 진행하였으며, 실험 조건의 변수는 CT의 kVp와 mA의 선량변화와 감쇠보정법인 STD법과 QAC법에 대한 각각의 SUV를 측정하는 것이다. CT선량변화 조건은 140, 120, 100, 80 (kVp)의 관전압과 120, 80, 40, 20, 10 (mA)의 관전류의 각각 선량 변화를 주어 CT scan을 총 20회 진행하였고, PET scan 1회 측정하였다. 각 조건별로 PET recon을 하여 각각의 선량별로 얻은 CT에 대한 PET Data를 획득하였다.

1) 자체 제작 phantom & screw

첫 번째 실험은 자체 제작 phantom & screw를 사용한 실험으로, phantom내의 ^{18}F -FDG의 주입량은 제작 phantom내의 Background는 74 MBq (2 mCi)를, Target이 되는 6개의 sphere는 1.32 MBq ($36 \mu\text{Ci}$)을 주입하여 교반하였으며, 검사는 먼저 non-metal scan을 진행하였고, 검사대에 위치시킨 뒤 scan을 진행하였다. Metal scan 영상획득 후, phantom내의 spongy의 절개부분에 screw물질을 제거한 뒤, non-metal scan을 반복 진행하였다(Fig. 4).

2) 자체 제작 Phantom & Mesh cage

두 번째 실험은 자체 제작 phantom & mesh cage를 사용한 실험으로, phantom내의 ^{18}F -FDG의 주입량은 제작 phantom

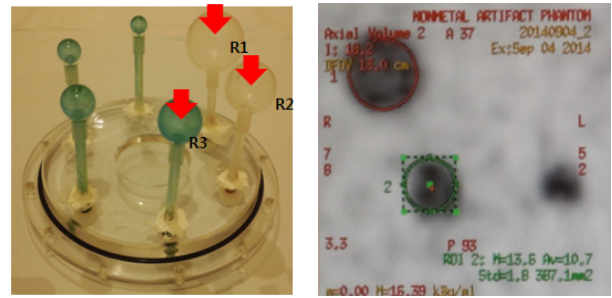


Fig. 5. Measurement method of SUV (R1, R2, R3).

내의 background에는 74 MBq (2 mCi)를, Target이 되는 6개의 sphere는 1.40 MBq ($38 \mu\text{Ci}$)을 주입하여 교반하였으며, 검사는 먼저 non-metal scan을 진행하였고, 검사대에 위치시킨 뒤 scan을 진행하였다. Metal scan 영상획득 후, phantom내의 spongy의 절개부분에 mesh cage물질을 제거한 뒤, non-metal scan을 반복 진행하였다.

3. 결과 분석

1) SUV 측정

PET/CT 검사를 시행한 뒤 측정하고자 하는 부위의 관심 영역(Region Of Interest, ROI)을 그려 SUV의 평균값을 도출하고자 하였다. 측정하고자 한 SUV는 선량조건별로 획득한 CT에 대한 PET recon data 중 동일한 관상면(coronal plane)의 image상에서 측정하였으며, 측정부위는 phantom내의 target이 되는 총 6개의 sphere 중 지름이 큰 구 3개 region 1 (30 mm), region 2 (28 mm), region 3 (22 mm)를 선정하여 ROI를 설정하였고, 각각의 ROI의 크기는 R1 (678.9 mm^2), R2 (387.1 mm^2), R3 (166.6 mm^2)으로 일정하게 그린 뒤, 평균값(average mean value)을 10회씩 측정하였다(Fig. 5). GE사의 process program에서 PET recon data를 multiple하게 선택할 수 있는 기능을 이용하여, 동일한 위치에 ROI를 그림으로써, 편차를 줄여 일괄적으로 같은 위치에서 SUV를 측정하였다.

2) 데이터 분석

[Test 1-R1] Non-metal 평균비교

측정된 SUV는 각 실험의 금속 유무에 따른 non-metal과 metal의 region 1, 2, 3에 대한 각각의 선량조건별 · CTAC기법별로 SUV 평균비교를 하였으며 결과는 다음과 같았다(Table 1). Test 1-R1의 non-metal과 metal의 비교 시, 선량변화에 따른 SUV는 각각의 kVp에 따라 120, 80, 40 (mA)의 경우는 non-metal과 metal에서 큰 변화차이를 보이지 않았으

Table 1. For example of test 1(phantom-screw)-region1 SUV

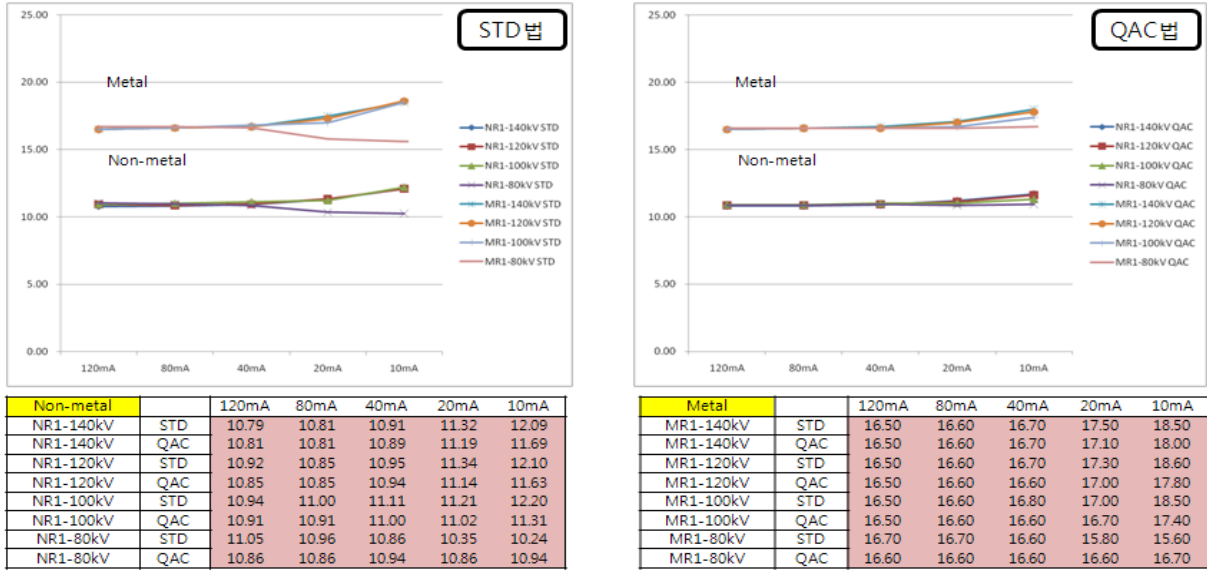
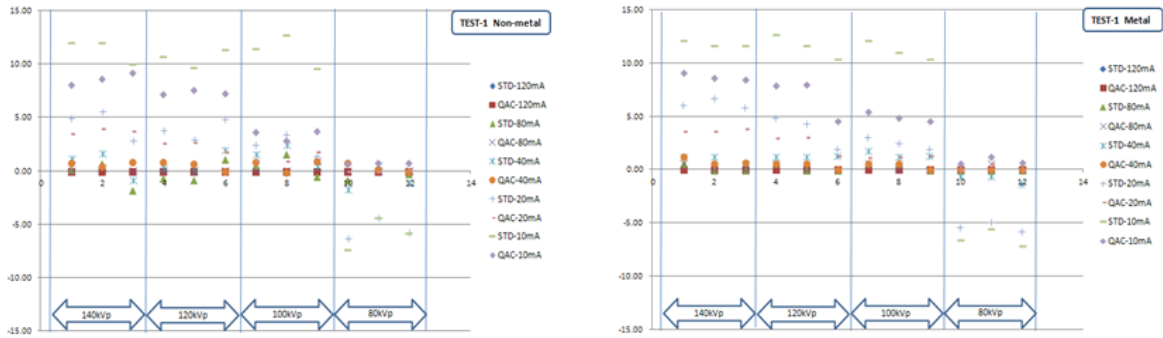


Table 2. Convert into a percentage ratio of test 1 (phantom-screw)



		[Screw]-Non-metal									
		STD					QAC				
		120mA	80mA	40mA	20mA	10mA	120mA	80mA	40mA	20mA	10mA
R1	140kVp	0.00	0.19	1.11	4.91	12.05	0.00	0.00	0.74	3.52	8.14
	120kVp	0.00	-0.64	0.27	3.85	10.81	0.00	0.00	0.83	2.67	7.19
	100kVp	0.00	0.55	1.55	2.47	11.52	0.00	0.00	0.82	1.01	3.67
	80kVp	0.00	-0.81	-1.72	-6.33	-7.33	0.00	0.00	0.74	0.00	0.74
R2	140kVp	0.00	0.75	1.60	5.55	12.03	0.00	0.28	0.47	4.02	8.70
	120kVp	0.00	-0.77	0.00	2.90	9.76	0.00	0.00	0.68	2.73	7.61
	100kVp	0.00	1.60	2.45	3.39	12.79	0.00	0.00	-0.09	0.93	2.87
	80kVp	0.00	0.37	0.47	-4.38	-4.38	0.00	0.00	0.09	0.00	0.83
R3	140kVp	0.00	-1.74	-0.82	2.84	10.08	0.00	0.00	0.84	3.73	9.24
	120kVp	0.00	1.12	1.96	4.86	11.41	0.00	0.00	0.00	1.85	7.31
	100kVp	0.00	-0.46	0.46	1.38	9.66	0.00	0.93	0.93	1.87	3.73
	80kVp	0.00	-0.28	-1.11	-5.72	-5.81	0.00	0.00	0.00	0.19	0.83

		[Screw]-Metal									
		STD					QAC				
		120mA	80mA	40mA	20mA	10mA	120mA	80mA	40mA	20mA	10mA
R1	140kVp	0.00	0.61	1.21	6.06	12.12	0.00	0.61	1.21	3.64	9.09
	120kVp	0.00	0.61	1.21	4.85	12.73	0.00	0.61	0.61	3.03	7.88
	100kVp	0.00	0.61	1.82	3.03	12.12	0.00	0.61	0.61	1.21	5.45
	80kVp	0.00	0.00	-0.60	-5.39	-6.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
R2	140kVp	0.00	0.00	1.23	6.75	11.66	0.00	0.00	0.61	3.68	8.59
	120kVp	0.00	0.00	1.23	4.29	11.66	0.00	0.00	0.61	3.07	7.98
	100kVp	0.00	0.61	1.23	2.45	11.04	0.00	0.00	0.61	1.23	4.91
	80kVp	0.00	0.00	-0.61	-4.88	-5.49	0.00	0.61	0.00	0.61	1.23
R3	140kVp	0.00	0.00	0.64	5.84	11.69	0.00	0.00	0.65	3.90	8.44
	120kVp	0.00	0.00	1.30	1.95	10.39	0.00	0.00	0.00	1.30	4.55
	100kVp	0.00	0.00	1.30	1.95	10.39	0.00	0.00	0.00	1.30	4.55
	80kVp	0.00	0.00	-1.29	-5.81	-7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65

며, 임계점 40 mA이하에서는 변화폭이 점차 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 CTAC기법 별로 비교 시, QAC기법이 STD기법에 비해 변화폭이 적게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 non-metal과 metal,에서 비슷한 양상으로 나타났으며, 변화폭을 비교하였을 때, non-metal 보다 metal에서 약간의 변화차가 있는 것을 알 수 있었다. Test 1-R1의 non-metal

의 SUV 평균은 최대값 12.09, 최소값 10.79정도로 나타났으며, metal의 경우는 최대값 18.60, 최소값 16.50으로 metal의 경우 SUV가 전체적으로 높게 나타났다. Test 1-R2, R3 역시 Test-R1과 비슷한 양상의 SUV를 얻었다.

Table 2는 test 1 (phantom-screw)의 R1, R2, R3에서 획득한 SUV를 이용하여, 각각의 최고선량(120 mA를 기준으로

Table 3. For example of test 1(phantom-mesh cage)-region1 SUV

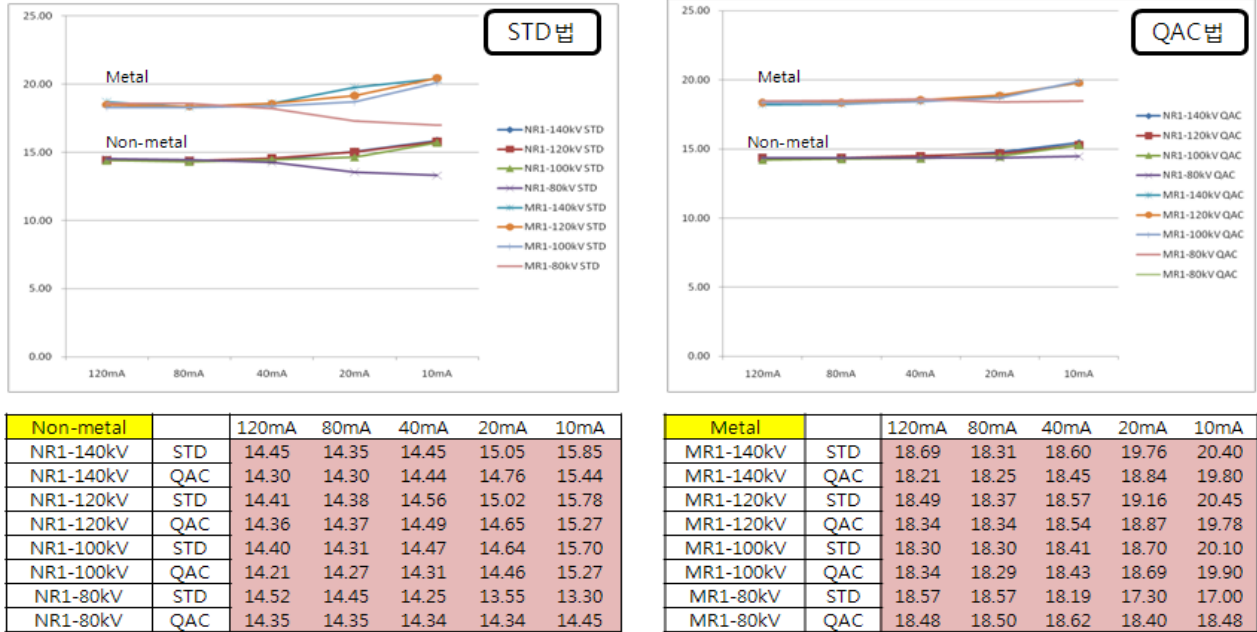
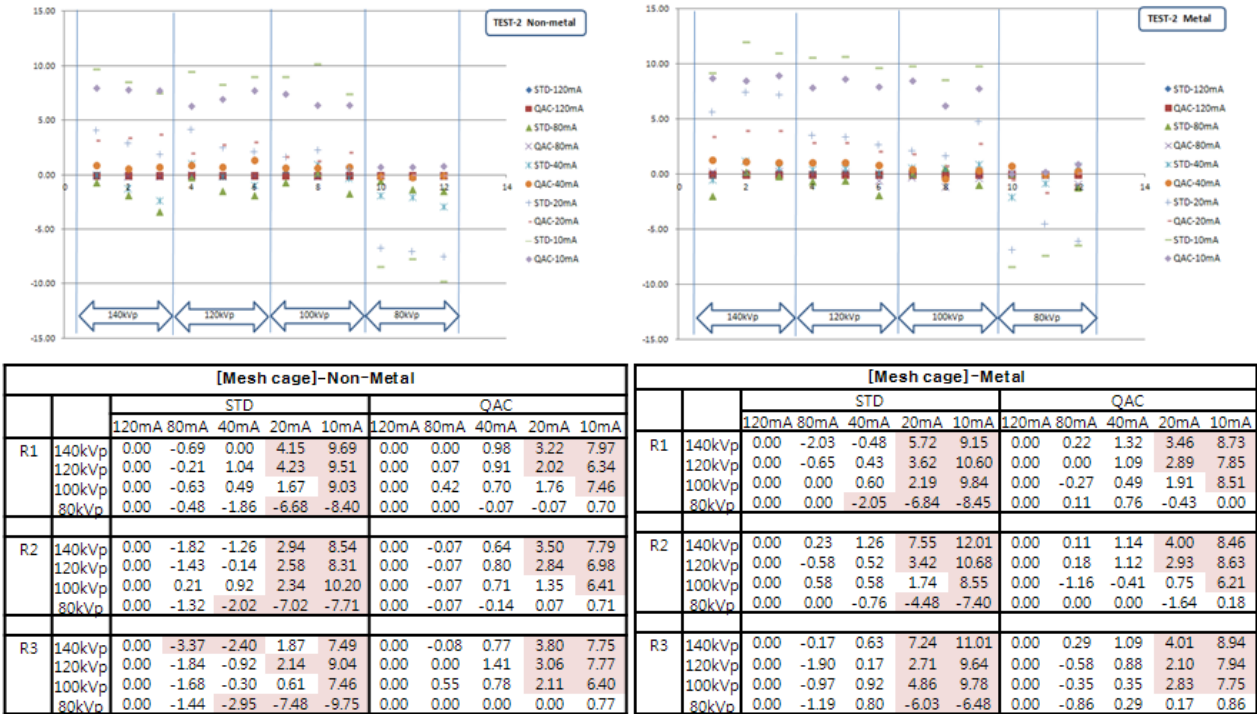


Table 4. Convert into a percentage ratio of test 2 (phantom-mesh csge) SUV



140, 120, 100, 80 (kVp)을 기준으로 백분율(%)로 환산한 값을 비교하였다. Table 2에서 표시된 분홍색부분은 백분율 오차의 변동률이 $\pm 2\%$ 이상인 부분을 나타냈다. 표에서와 같이 120, 80, 40 (mA)에서 $\pm 2\%$ 이상의 오차가 총 144개의 변수 중

에 1회로 나타나 약 0.69%로 낮은 것으로 나타났으며, 20, 10 (mA)에서는 총 96개의 변수 중에 73회로 나타나 약 76%의 높은 빈도를 보였다. 변동율 수치를 비교한 결과, STD기법 보다 QAC기법에서 변동율 수치가 낮게 나타났었다(Table 2).

[TEST2-R1] NON-METAL 평균비교

측정된 SUV는 각 실험의 금속 유무에 따른 non-metal과 metal의 region 1, 2, 3에 대한 각각의 선량조건별 · CTAC기법별로 SUV 평균비교를 하였으며, 결과는 다음과 같았다 (Table 3). Test 2-R1의 non-metal과 metal의 비교 시, 선량변화에 따른 SUV는 각각의 kVp에 따라 120, 80, 40 (mA)의 경우는 non-metal과 metal에서 큰 변화차이를 보이지 않았으며, 임계점 40 mA이하에서는 변화폭이 점차 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, CTAC기법 별로 비교 시, QAC기법이 STD기법에 비해 변화폭이 적게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 non-metal과 metal,에서 비슷한 양상으로 나타났으며, 변화폭을 비교하였을 때, non-metal 보다 metal에서 약간의 변화차가 있는 것을 알 수 있었다. Test 2-R1의 non-metal의 SUV 평균은 최대값 15.85, 최소값 14.21정도로 나타났으며, metal의 경우는 최대값 20.45, 최소값 18.21으로 metal의 경우 SUV가 전체적으로 높게 나타났다. Test 2-R2, R3 역시 test-R1과 비슷한 양상의 SUV를 얻었다.

Table 4는 test 2 (phantom-mesh cage)의 R1, R2, R3에서 획득한 SUV를 이용하여, 각각의 최고선량(120 mA를 기준으로 140, 120, 100, 80 (kVp))을 기준으로 백분율(%)로 환산한 값을 비교하였다. Non metal과 metal에서 각각의 관전압에 따른 관전류 변화를 비교해 보면, 120, 80, 40 (mA)에서±2% 이상의 오차가 총 144개의 변수 중에 5회로 나타나 약 3.47%로 낮은 것으로 나타났으며, 20, 10 (mA)에서는 총 96개의 변수 중에 76회로 나타나 약 79.1%의 높은 빈도를 보였다. 변동율 수치를 비교한 결과, STD기법 보다 QAC기법에서 변동율 수치가 낮게 나타났다(Table 4).

결론 및 고찰

본 연구 결과, 선량이 작아질수록 STD기법과 QAC기법의 변동률은 둘 다 증가하는 것을 알 수 있었다. 단, STD기법보다 QAC기법이 SUV 변동율이 더 적게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한, non-metal과 metal 비교 시, metal scan이 평균적으로 non-metal보다 SUV가 더 크게 나타났으며, 변동율 또한 STD기법보다 QAC기법에서 더 적게 나타나는 것을 알 수 있었다. 본 실험에서 screw와 mesh cage의 metal 비교평가의 경우, metal 종류에 따른 변동율은 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

REFERENCES

1. Kresnik E, Gallowitsch HJ, Mikosch P, Wrtz F, Alberer D, Hebenstreit A, et al. ¹⁸F-FDG positron emission tomography in the early diagnosis of enterocolitis: preliminary results. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2002;29:1389-1392.
2. Ko Chang soon. Nuclear medicine. 3rd ed. 2008. p. 81-249
3. Yang CC, Liu SH, Mok GS, Wu TH. Evaluation of radiation dose and image quality of CT scan for whole-body pediatric PET/CT: a phantom study *Med Phys*. 2014 sep;41(9).
4. Albert Lonn. QAC: Quantitation Achieved Consistently *GE Healthcare*.
5. Seung Woo Jung, Hong Kyun Kim, et al. Effect of the dose reduction applied low dose for PET/CT according to CT attenuation correction method. *J Ncl Med Technol* 2014; 18(1):127-133.