

PET-CT에서 CT의 관전압 및 관전류에 따른 SUV값의 변화

— The Difference of Standardized Uptake Value on PET-CT According to Change of CT Parameters —

경희대학교 동서신의학병원 핵의학과 · 광양보건대학 방사선과¹⁾

신규설 · 동경래¹⁾

— 국문초록 —

목 적: PET이 PET-CT로 오면서 가장 큰 차이를 보이고 있는 점은 감쇄보정을 위한 투과영상의 차이이다. PET CT에서는 CT영상을 감쇄보정에 이용하고 있으며, CT 요인들이 PET 영상의 감쇄보정시 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 CT의 관전압과 관전류의 변화에 따라 PET의 정량성 평가로 이용되는 SUV(standard uptake value)의 값이 변화가 있는지를 평가하였다.

재료 및 방법: Data spectrum's lung phantom을 이용하여 ¹⁸F-FDG 1.909 mCi(팬텀 1)와 913 μCi(팬텀 2) 각각 물과 함께 넣고 흔들어 균일한 상태를 만든 후, 관전압을 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp, 140 kVp까지, 관전압 변화 당 관전류 10 mA에서 100 mA까지 각각 10 mA씩 변화를 주어 CT 영상을 얻었다. PET 영상을 각각의 CT영상을 이용하여 재구성 하였으며, 같은 부위에서의 SUV값을 구하여 그 차이를 비교하였다.

결 과: 팬텀 1의 SUV는 관전압 80, 100, 120, 140 kVp CT영상을 이용했을 때, 각각 12.26±0.009, 12.27±0.005, 12.27±0.006, 12.27±0.009로 나타났다. 팬텀 2에서는 관전압을 달리 하였을 때 각각 4.52±0.043, 4.53±0.004, 4.52±0.007, 4.52±0.005의 SUV를 보였다. 이들은 모두 관전압을 달리 하였을 때 통계적으로 유의한 SUV 변화를 보이지 않았다. 또한 관전류의 변화에서도 팬텀 1, 2 모두에서 유의한 SUV 차이는 나타나지 않았다.

결 론: 본 연구 결과 CT 요인의 변화가 PET 영상에서 SUV에 유의한 영향을 미치지 않았다. 따라서 PET CT 이용 시 SUV에 유의한 영향 없이 임상적 조건에 맞게 CT 요인들을 변화 시키는 응용이 가능할 것으로 생각된다.

중심 단어 : standardized uptake value, PET, CT, kVp, milliamperere

I. 서 론

최근 의료기관은 시설의 고급화와 첨단장비 구입경쟁 등 의료소비자 유치를 위한 치열한 경쟁을 벌이고 있는 실정이며 최고의 의료 서비스를 제공하고 질병진단의 정확성을 높이는 것은 물론 진료차별화 전략의 일환으로 첨단장비 도입에 나서고 있다. 더욱이 첨단의료장비 도입

* 이 논문은 2007년 9월 18일 접수되어 2007년 12월 3일 채택 됨.

책임저자: 신규설, (134-090) 서울시 강동구 상일동 149번지
경희대학교 동서신의학병원 핵의학과
TEL: 02-440-6903, FAX: 02-440-6904
E-mail: ajoushin@hanmail.net

교신저자: 동경래, (545-703) 전남 광양시 광양읍 덕레리 223-1
광양보건대학 방사선과
TEL: 061-760-1459, FAX: 061-763-9003
E-mail: krdong@hanmail.net

여부가 병원의 경쟁력을 판가름하는 주 요인으로 부각되면서 각 병원의 핵의학과에서도 이러한 변화추세에 맞추어 병원들마다 PET 또는 PET-CT 등 고가첨단장비 도입을 서두르고 있다. 또한 최근에는 암 진단에서 양전자방출단층촬영(positron emission tomography: PET)의 유용성이 확인¹⁾되고 PET검사의 보험적용이 2006년 7월 1일부터 암환자에게 인정되었기 때문에 일반인들도 PET에 대한 관심을 가지기에 이르렀다. 양전자방출단층촬영(PET; Positron Emission Tomography)은 우리 몸에서 암과 같은 질병이 발생할 때, 암세포는 여러 단계의 과정을 거치는데 초기에는 유전자 단계에서의 변화가 생기고, 이 유전자 변이의 결과에 의해 세포의 대사에 변화가 생긴다. 이 대사의 변화는 결국 형태적 변이를 일으키는데, 이때 양전자 방출핵종으로 표지된 방사성 의약품(FDG)을 환자의 몸에 주사하고 PET 검사를 시행하면 정상적인 세포보다 세포가 포도당 유도체를 더 잘 흡수하므로 방사성을 띤 FDG의 분포를 파악하여 어느 부위에 암이 있는지를 알 수 있게 되는 것이다²⁾. 또한 병변부위를 정확히 감별하고 병변을 반정량화하며 치료의 반응을 평가하는데 정량분석이 필요한데, 정량분석 방법으로는 일반적으로 SUV(Standardized uptake value)값이 임상에서 많이 적용되고 있다^{3,4)}. 일반적으로 SUV 값이 2.5 이상이면 악성종양이 의심되어 양성병변과 감별할 수 있다⁵⁾. 따라서 SUV값이 암의 조기발견, 병기설정, 치료 후 평가 등 임상에서 많이 이용하게 되었다.

양전자방출단층촬영(PET)은 일반적으로 Transmission Source 사용하여 투과스캔(Transmission Scan)을 약 15~20분 정도 시행하여 감쇄보정(Attenuation Correction)을 하고, 약 20~30분 정도 방출스캔(Emission Scan)을 시행하여 영상을 얻는다⁶⁾. 하지만 검사시간이 길어 환자의 불편함과 Attenuation Correction Source는 시간이 경과함에 따라 방사능이 줄어들기 때문에 교체를 해야 하는 번거로움과 해상도가 떨어지는 단점이 있었다. 따라서 이러한 단점을 해소하기 위해 최근에는 CT를 PET에 결합시킨 새로운 영상장비인 PET-CT가 탄생하게 되었다. PET-CT는 CT와 PET를 나란히 놓고 환자는 침대에 고정시켜 놓은 채로 두 장치 사이에 침대를 이동시켜 CT의 형태학적 영상과 PET의 기능적 영상을 동시에 얻는 검사 방법으로 고해상도의 영상과 촬영시간을 20~30분대로 줄일 수 있었다. PET-CT가 도입되면서 CT가 제공하는 양질의 의료정보로 인해 기존의 PET기기는 점차 줄어드는

반면에 PET-CT는 급속히 성장하고 있다. PET이 PET-CT로 오면서 가장 큰 차이를 보이고 있는 점은 감쇄보정을 위한 투과영상의 차이이다. PET-CT에서는 PET gantry에 별도의 CT gantry를 혼합하여, CT tube에서 나오는 X-선으로 투과 영상을 만들고 이를 감쇄보정 인자로 이용한다. 투과 영상을 만드는 방사선의 종류와 에너지에 따라 감쇄 보정인자 및 감쇄 보정된 영상도 달라지게 되고 malignance grade를 설정하는 지표로 이용되고 있는 SUV 값도 차이가 나게 된다. 따라서 PET CT촬영 시 환자의 체중에 따라 CT의 조건에 변화를 주게 되는데 여기서는 CT의 관전압과 관전류의 변화에 따라 PET의 정량성 평가로 이용되는 SUV(Standardized uptake value)의 값이 변화가 있는지를 평가해 보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

가. PET CT Scanner

Discovery ST(GE; USA)

Detector Material : 30 mm Bismuth Germanate(BGO)

Number of crystals : 10,080

Crystal dimensions(mm) : 6.2×6.2×30

Number of blocks/modules : 280 block

Patient aperture(cm) : 70

Axial FOV(cm) : 15.7

나. Data spectrum's lung phantoms

1) Inside Diameter Elliptical Shape :

Dia. along major axis : 12.2"(30.5 cm)

Dia. along minor axis : 8.7"(22.1 cm)

Inside Height : 7.3"(18.6 cm)

2) Volume :

Empty cylinder : ~9.4 L

Left Lung : ~0.9 L

Right Lung : ~1.1 L

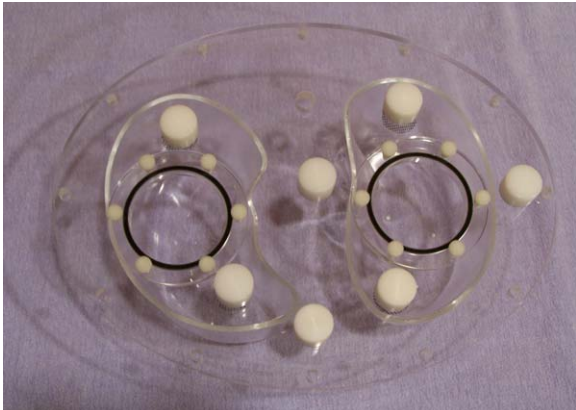


Fig. 1. Data spectrum's lung phantoms

2. 실험 방법

양전자 방출 방사성동위원소 [F-18]2-deoxy-2-fluoro-D-glucose(FDG) 1.909 mCi(SUV 1)와 913 μ Ci(SUV 2)를 각각 Data spectrum lung phantom의 Lt lung과 Rt lung에 물로 희석시킨 후에 주입하고 흔들어 균일한 상태를 만들었다. 실험에 이용된 조건의 변화는 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp, 140 kVp까지 각각 관전압 변화를 주었고, 관전류의 변화는 10 mA에서 100 mA까지 각각 10 mA씩 변화를 주었으며 노출시간은 1 sec씩 동일하게 촬영하였다.

PET-CT영상은 Discovery ST Scanner를 이용하여 Acquisition time을 4 min/bed 정하여 데이터를 수집하였다. 반복영상 재구성(Iterative reconstruction)방법으로는 반복횟수(Iteration) 3번과 부분집합(Subsets) 16으로 sheep filter를 사용하여 영상을 재구성 하였고, PET-CT영상 47개 slice 중 32번째 slice의 일정위치의 두 점에서 Fig. 2와 같이 SUV값을 각각 얻었다.

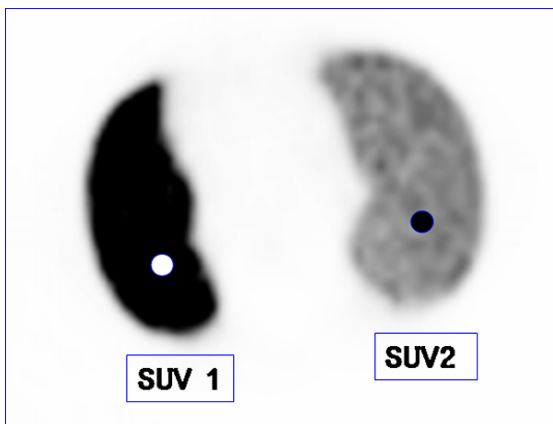


Fig. 2. ROI localization of Phantom

III. 결 과

위와 같은 실험방법으로 각 조건에 따른 SUV값을 얻었다(Table 1, 2). 결과에 대한 분석은 Med Calc Version 9.2.1.0 Program을 이용하여 분석 하였다.

Table 1. Change of SUVmax according to parameters

kVp	mA	SUV 1	SUV 2	kVp	mA	SUV 1	SUV 2
	10	12.25	4.54	10	12.28	4.54	
	20	12.27	4.54	20	12.27	4.54	
	30	12.27	4.53	30	12.27	4.54	
	40	12.27	4.54	40	12.28	4.53	
80	50	12.25	4.54	100	50	12.27	4.53
	60	12.27	4.4		60	12.27	4.53
	70	12.27	4.53		70	12.28	4.53
	80	12.27	4.54		80	12.28	4.53
	90	12.28	4.54		90	12.27	4.53
	100	12.27	4.53		100	12.27	4.53

Table 2. Change of SUVmax according to parameters

kVp	mA	SUV 1	SUV 2	kVp	mA	SUV 1	SUV 2
	10	12.27	4.54	10	12.28	4.54	
	20	12.27	4.54	20	12.27	4.52	
	30	12.28	4.53	30	12.28	4.52	
	40	12.28	4.53	40	12.27	4.53	
120	50	12.27	4.52	140	50	12.25	4.53
	60	12.26	4.53		60	12.28	4.53
	70	12.27	4.52		70	12.28	4.53
	80	12.28	4.53		80	12.27	4.53
	90	12.28	4.53		90	12.28	4.53
	100	12.28	4.52		100	12.28	4.53

1. 관전압 변화에 따른 SUV 변화

4개의 group(80, 100, 120, 140 kVp) 사이에 SUV평균의 차이가 있는지 알아보기로 Kruskal-Wallis test를 실시하였다. SUV1에 대한 결과는 $p = 0.1048$ 로 4군 사이에 SUV1의 평균은 $p > 0.05$ 이므로 의미 있는 차이는 없었다(Fig. 3).

SUV2에 대한 결과는 $p = 0.1184$ 로 4군 사이에 SUV2의 평균은 $p > 0.05$ 이므로 의미 있는 차이는 없었다(Fig. 4).

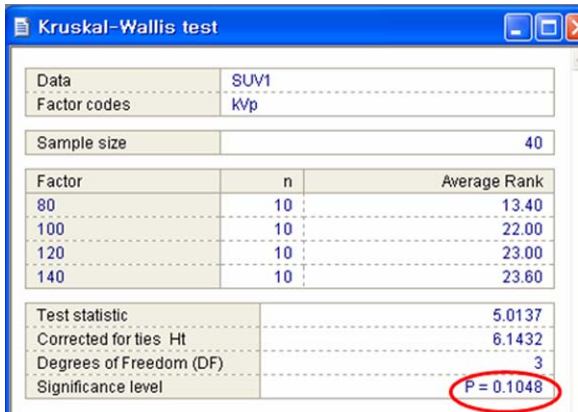


Fig. 3. Analysis of SUV1

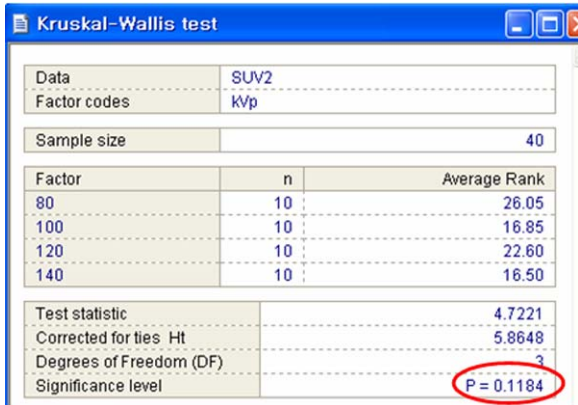


Fig. 4. Analysis of SUV2

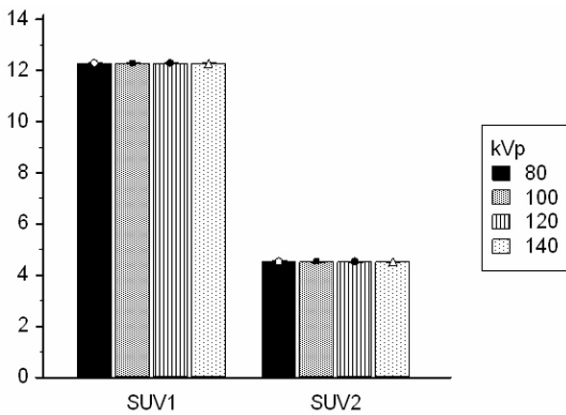


Fig. 5. Comparison of mean SUV between 4 groups

2. 각 group에 대한 비교

각 group(80과 100, 100과 120, 120과 140등 kVp) 사이에도 SUV평균의 차이가 있는지 알아보하고자 Wilcoxon

signed rank test를 실시하였다. 80과 100 kVp 2군의 SUV1에 대한 결과는 $p = 0.0781$ 로 2군 사이에 SUV1의 평균은 $p > 0.05$ 이므로 의미 있는 차이는 없었다(Fig. 6). 위와 같은 방법으로 각 group간의 p값을 모두 구하였다.

- 80 vs 120 kVp(SUV1) $p = 0.0937$
- 80 vs 140 kVp(SUV1) $p = 0.0625$
- 100 vs 120 kVp(SUV1) $p = 0.8125$
- 100 vs 140 kVp(SUV1) $p = 1.0000$
- 120 vs 140 kVp(SUV1) $p = 1.0000$
- 80 vs 100 kVp(SUV2) $p = 0.4375$
- 80 vs 120 kVp(SUV2) $p = 0.8438$
- 80 vs 140 kVp(SUV2) $p = 0.2969$
- 100 vs 120 kVp(SUV2) $p = 0.1250$
- 100 vs 140 kVp(SUV2) $p = 1.0000$
- 120 vs 140 kVp(SUV2) $p = 1.0000$

모두 $p > 0.05$ 이므로 의미 있는 차이는 없었다.

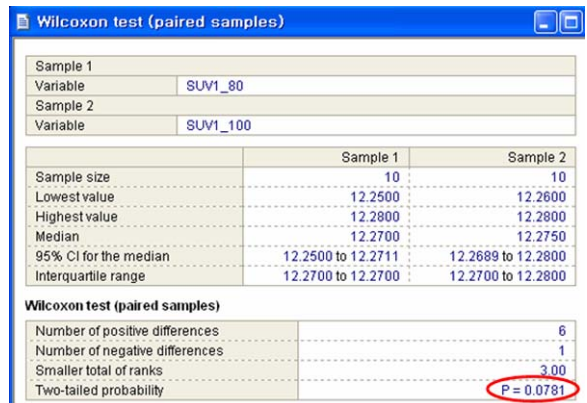


Fig. 6. Comparison of SUV1 mean between 2 groups

3. 관전류 변화에 따른 SUV변화

관전류 10개 group(10~100 mA) 사이에 SUV 평균의 차이가 있는지 알아보하고자 Kruskal-Wallis test를 시행하였다.

SUV1의 분석결과 $p = 0.5931$ 로 10개 군 사이에 SUV1의 평균은 $p > 0.05$ 이므로 의미 있는 차이는 없었다(Fig. 7).

SUV2의 분석결과도 $p = 0.0934$ 로 10개군 사이에 SUV2의 평균도 의미 있는 차이가 없었다.

Phantom실험으로 kVp, mA 변화에 따른 SUV값을 여러 가지 방법으로 분석해 본 결과 모두 $p > 0.05$ 로 의미 있는 차이는 없었다.

IV. 고찰

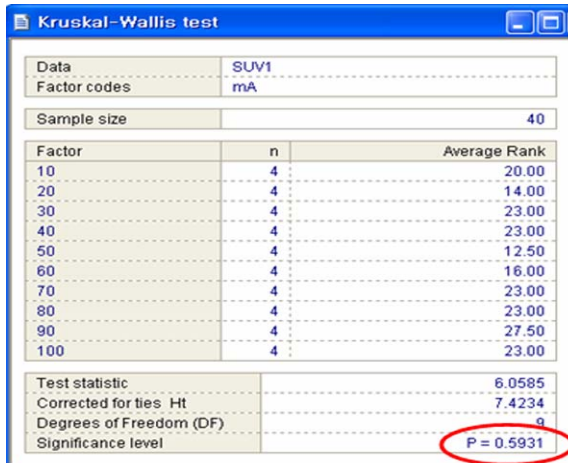


Fig. 7. Analysis of SUV1

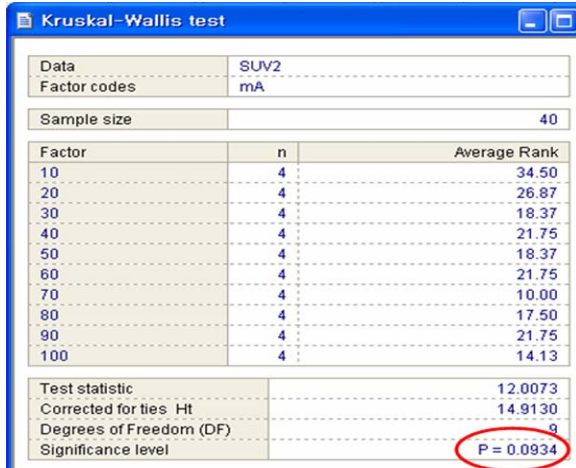


Fig. 8. Analysis of SUV2

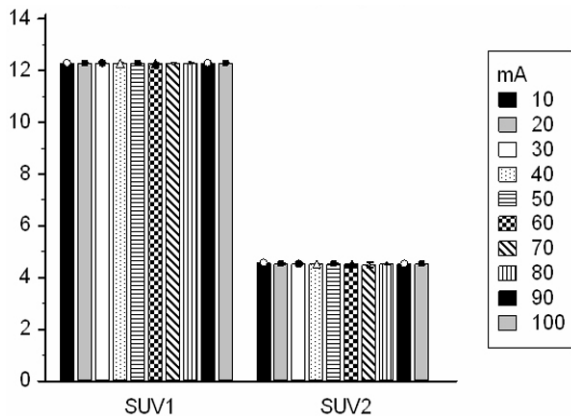


Fig. 9. Comparison of SUV among 10 groups

PET-CT는 비침습적이며 대조도가 높기 때문에 손쉽게 암을 진단하고 그 병기를 결정할 수 있으며, 전신촬영이 가능하기 때문에 한 번의 검사로 원격 전이도 진단할 수 있다. 폐암, 유방암, 두경부암, 림프암, 흑색종, 식도암 등에서 그 이용이 눈에 띄게 증가하였고 미국에서는 이들 질환 대부분에서 보험급여를 해주고 있다⁷⁾. 우리나라에서도 2006년 6월 1일부터 시행할 수 있는 보건복지부 고시 제 2006-37 호에 의거하여 건강보험 요양급여의 적용기준 및 방법에 관한 세부 규정을 2006년 5월 25일 개정 고시하였다. 보험급여의 적용으로 인해 PET-CT환자는 2004년에는 37,805명 2005년에는 57,031명 2006년에는 100,503명으로(대한핵의학회 통계자료) 급격히 증가 추세를 보이고 있다. 최근의 병원 시스템은 당일 영상의학과에서 실시하는 CT검사를 시행하고 이어서 핵의학과에서 시행하는 PET-CT검사를 시행하는 병원 시스템이 대부분 이어서 환자가 받는 방사선 노출은 더욱 증가되고 있는 경향이다. PET-CT장치의 보급과 이용이 급속히 증가되고 있고 PET-CT검사가 핵의학검사에 중요한 위치를 차지하고 있는 의료환경에 PET-CT로 인한 환자의 방사선 피폭은 반드시 고려되어야 할 것이다. 본 연구의 결과에 의하면 관전류의 변화에 따른 SUV값의 변화가 없으므로 나타났기 때문에 PET CT검사에서의 CT사용을 감소보정 및 위치정보의 목적으로 사용한다면 CT Tube에 무리가 가지 않는 최저 선량 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다. 관전류 변화에 따른 환자의 피폭선량이 얼마나 줄어드는지 알아보려고 문헌을 참고하여 분석해 보았다. 보고된 인체모형을 팬텀을 사용하여 시행된 복부CT에서 mAs 변화에 따른 복부선량 실험에⁸⁾ 의하면 Single detector CT와 인체모형 팬텀을 사용하여 48 cm의 스캔 조사야, 120 kVp, 7 mm의 단면두께와 간격으로 고정된 상태에서 mAs를 100, 150, 200, 250으로 변화시켜 복부 조직이 받은 선량한 측정된 결과는 다음과 같았다. mAs의 변화에 따른 복부선량은 각각 14.2 ± 0.5 mSv, 21.1 ± 0.9 mSv, 28.0 ± 1.0 mSv, 34.8 ± 1.5 mSv로 거의 일정한 비율로 증가하였다고 보고하였다. 보고된 실험의 자료를 기초로 Excel program이용하여 방정식을 만들어 보면 $Y = 0.1374X + 0.48$ 이 된다(Y: 평균피폭선량, X: mAs). 따라서 장비제조회사에서 권고하는 최저선량인 50 mAs(CT Tube에 영향을 미치지 않는 선량)를 적용해보면 약 7.35 mSv가 된다. 현재 영상의학과에서 복부 촬영 시 사용하는 mAs는 200~250 mAs를 사용하는데 PET-CT에서 50 mAs를

사용하면 복부선량을 약 20.61~27.48 mSv를 감소시킬 수 있을 것이다. 관전류를 낮추면 CT영상의 화질에는 많은 영향을 미친다. 하지만 핵의학과 단독으로 영상의 질을 높이고자 조영제를 사용하여 PET CT검사를 시행하면 조영제 사용료를 청구하지 못하기 때문에 핵의학과에서는 PET CT 검사의 CT영상은 감쇄보정 및 위치정보를 찾는 데에만 이용하고 있으며, 핵의학과 임상 의사들도 가능하면 최저선량을 사용할 수 있도록 권고하고 있다.

본 연구의 제한점으로는 lung phantom에서 특정한 노출조건과 같은 위치에서 측정된 값이고 인체 실험을 시행하지 않은 연구이었다. 방사선방호위원회 간행물 87의 전산화단층촬영에서 환자선량관리⁹⁾에 의하면, CT 선량은 전통적 방사선촬영 선량보다 유의하게 높기 때문에, 검사 받는 사람에게 주는 즉각적인 이득의 수준에서 임상적 정당화가 되지 않는 연구목적의 CT 검사는 엄밀하게 평가되어야 하고, 모든 X선 절차와 같이 CT검사는 임상적 정당화 없이 반복하지 말아야 한다 라고 언급하고 있기 때문에 인체실험을 하지 않고 일반적으로 많이 사용하고 있는 phantom 실험을 시행하였다.

V. 결 론

SUV값은 암환자의 경우 malignance grade를 설정하는 지표가 된다. 환자를 검사할 때 환자의 몸무게에 따라 CT의 관전압, 관전류의 변화를 주게 되는데, 이번 실험에서 관전압, 관전류의 변화에 따른 PET SUV값의 변화가 거의 없는 것을 확인하였다. 때문에 PET-CT 검사시 CT 조건의 변화를 주며 촬영을 해도 무방할 것으로 사료된다. 따라서 관전류가 피폭에 관여하는 인자이므로 환자의 피폭을 줄이는데도 주의가 필요할 것이며 PET-CT검사에서도 환자의 방사선량을 경감시키는 차원으로 PET 진단

에 영향을 주지 않는다면 고 선량(High dose)을 사용하는 것 보다 장비에 무리가 가지 않을 정도의 저 선량(Low dose)을 사용하는 것이 방사선 방호관점에서 환자의 피폭선량을 조금이라도 줄일 수 있다고 사료된다. 또한 같은 날 CT촬영과 PET-CT검사를 같이 할 경우에는 반드시 저 선량을 사용하여 환자의 피폭선량을 줄여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Paul J. Early, Dabsnm, Abmp, D. Bruce Sodee : Principles and practice of Nuclear Medicine, 2nd ed., Mosby, 739-740, 1994
2. Robert E. Henkin : Nuclear Medicine, Mosby, 1525-1526, 1996
3. Dale L. bailey, David W. Townsend, Peter E. Valk, Michael N. Maisey : Positron Emission Tomography, Springer, 279-281, 2004
4. Richard L. Wahi : Principles and practice of Positron Emission Tomography, 61-62, 2002
5. 고창순 편저 : 핵의학, 제 2 판, 고려의학, 171-172, 1997
6. Gopal B. Saha : Basics of PET Imaging, Springer, 51-53, 2004
7. Bomanji JB, Costa DC, Ell PJ : Clinical role of positron emission tomography in oncology. Lancet Oncol 2:157, 2001
8. 김문찬 : 최신CT영상기술학, 청구문화사, 501, 2007
9. 이재기 : 전산화단층촬영[CT]에서 환자선량 관리, 국제방사선방호위원회 간행물 87, 17, 2006

• Abstract

The Difference of Standardized Uptake Value on PET-CT According to Change of CT Parameters

Gyoo-Seul Shin · ¹⁾Kyeong-Rae Dong

Department of Nuclear Medicine, Kyunghee University east-west neo medical center

¹⁾Department of Radiological Technology, Kwangyang Health College

Purpose : There is difference between PET and PET/CT method on their transmission image for attenuation correction. The CT image is used for attenuation correction on PET/CT and the parameters of CT may be affected on PET image. We performed the phantom study to evaluate whether the change of CT parameters(kilovolts peak and milliampere) affect standardized uptake value(SUV) on PET image.

Material and Method : The data spectrum lung phantom containing diluted [¹⁸F]fluorodeoxyglucose ([¹⁸F]FDG) solution(1.909 mCi for phantom 1, 913 μ Ci for phantom 2) was used. The CT images of phantom were acquired with varying parameters (80, 100, 120, 140 for kVp, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 for mA). The PET images were reconstructed with the each CT images and SUVs were compared.

Result : The SUVs of phantom 1 reconstructed with each 80, 100, 120 and 140 kVp showed 12.26 ± 0.009 , 12.27 ± 0.005 , 12.27 ± 0.006 and 12.27 ± 0.009 , respectively. The SUVs of phantom 2 revealed 4.52 ± 0.043 , 4.53 ± 0.004 , 4.52 ± 0.007 and 4.52 ± 0.005 with elevation of voltage. There was no statistically significant difference of SUVs between groups based on various kVp. Also SUVs of phantom 1 and 2 showed no significant change with elevation of milliampere in CT parameter.

Conclusion : The parameters of CT did not significantly affect SUV on PET image in our study. Therefore we can apply various parameters of CT appropriated for clinical conditions without significant change of SUV on PET CT image.

Key Words : standardized uptake value, PET, CT, kVp, milliampere