

Enhancement of the Early/Precise Diagnosis Based on the Measurement of SUVs in F-18 FDG PET/CT Whole-body Image

Jeong-Kyu Park*, Sung Kyu Kim†, Ihn-Ho Cho†,
Eun-Jung Kong†, Myeong-Hwan Park*, Bok-Yeon Cho§

*Department of Radiologic Technology, Daegu Health College, Daegu, Departments of
†Radiation Oncology, †Nuclear Medicine, Yeungnam University College of Medicine, Daegu,
§Department of Radiology, Soonchunhyang University of Hospital Gumi, Gumi, Korea

Through this research, we measure the data for several SUVs such as SUVLBM, SUVBW, and SUVBSA using volume of interest in order to enhance the diagnostic level in whole-body image for healthy examinees via F-18 FDG PET/CT. Maximum value, mean value, standard deviation, and threshold value for each SUVs are shown. The measurement of SUVs are carried out with 31 examinees who have taken whole-body examination with F-18 FDG PET/CT from July, 2012 to August, 2012. To secure the preciseness of measurement, we selected 26 healthy examinees as a subject of measurement according to diagnostic view of a nuclear-medical doctor. We see from the measurement of SUVs of PET/CT that the value of SUVBW is highest and followed by SUVLBM and SUVBSA in turn regardless of the use of contrast media. By comparing the SUVLBM-maximum data for the group used contrast media with those for the group used no contrast media, there found a trend that the measured values increase when the contrast media are used. Among them, liver, aorta, lumbar-5, and Cerebellum exhibit significant difference ($p < 0.05$). We conclude that our data for SUVs would be basic references in overall image interpretation, and hope that the research using VOI would be active.

Key Words: F-18 FDG PET/CT, VOI, SUVs, Contrast media

서 론

PET/CT 검사는 우리 몸의 신진대사에 이용되는 포도당과 유사한 물질을 주사해 전신의 대사상태의 미세한 변화를 영상화 시키고 이러한 집적기전의 특이적 현상을 바탕으로 인체 및 조직 내의 생리적 지표들을 정량적으로 측정할 수 있다. 병변 및 정상조직의 생화학 변화작용 또는 병리 현상의 규명과 질병진단, 치료 후 예후 판정, 치료계획 등에 유용하게 이용되고 이러한 장점들은 다른 진단학적 장비의 특성과 비교하였을 경우 상대적으로 많은 정보를 제공 할 수 있다.¹⁾

임상에서 PET/CT 검사의 적용은 초기에 알츠하이머병, 파킨슨씨병, 간질과 같은 뇌신경계 질환의 진단에 주로 이

용되었으나 최근의 연구들은 폐암, 식도암, 두경부암, 임파종, 유방암, 갑상선암, 자궁암, 췌장암, 위암, 대장암, 뇌종양과 같은 암 및 악성 종양들의 조기진단, 병기결정, 치료 효과 판정, 재발의 발견 및 예후 예측 등으로 발전, 확대 적용하고 있는 추세이다.²⁻⁵⁾ PET/CT 검사에서는 질환의 상태와 종양의 섭취 및 치료반응을 평가하기 위해 표준화 섭취계수(standardized uptake values, SUVs)를 사용하는데 SUV는 피검자의 체형(지방조직의 양), 혈중 포도당 농도, 종양의 크기, 정상조직의 섭취 증가, 방사성 동위원소 투여량과 촬영간격, 관심영역(region of interest, ROI) 등의 영향을 받고 이를 이용하여 조직에 집적된 방사능 농도를 반정량적으로 수치화 한 것이며 현재 임상에서 폭넓게 적용하고 있다.^{6,7)}

전신 PET/CT는 종양검사서 주로 사용하므로 종양조직에 섭취가 많이 일어나는 방사성 의약품을 사용한다. 여기에는 조직의 포도당 대사를 반영하는 F-18 FDG (Fluorodeoxyglucose: FDG), 아미노산 대사를 반영하는 C-11 Methionine, 그리고 세포 증식능을 평가할 수 있는 F-18 Fluorothymidine 등이 있다. 이 중에서 F-18 FDG가 실제 임상에서

이 논문은 2013년 8월 12일 접수하여 2013년 9월 4일 채택되었음.
책임저자 : 김성규, (705-717) 대구시 남구 대명동 317-1
영남대학교 의과대학 방사선종양학교실
Tel: 053)620-3373, Fax: 053)624-3599
E-mail: skkim3@ynu.ac.kr

가장 널리 사용되고 있다.^{8,9)}

F-18 FDG의 섭취는 정상조직을 이해하는데 SUVs의 다양성이 있어야 한다.¹⁰⁾ 많은 연구자는 생물학적이거나 물리적인 인자를 관심영역의 크기를 설정하여 SUV 방정식으로 계산하는 광범위한 연구를 진행해 오고 있다.¹¹⁾

관심영역 설정에 따라 평균치와 최대치가 차이를 보이므로 종양의 악성 정도를 평가하는 경우에는 섭취가 가장 강한 부위에 ROI를 설정하여 평가한다.¹²⁾ 최근 많은 연구자들은 몸무게(body weight, BW), 신체 표면적(body surface area, BSA), 제 지방 몸무게(lean body mass, LBM) 등을 그 인자의 기준으로 연구하고 있으며,^{13,14)} 이중 환자 개개인의 LBM을 이용하여 SUV를 측정하는 방법이 가장 정확하다고 보고되고 있다.¹⁴⁾ 또한, SUV 측정 시 3차원 부피정보가 더욱 정확한 데이터를 제공하지만, 아직 관심부피(volume of interest, VOI)를 이용하여 연구한 결과가 아직 학계에 보고되지 않았다. 그러므로 PET/CT에서 3차원적 VOI를 이용한 SUVs의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 SUVs로 정상부위에서 SUV_{LBM} , SUV_{BW} , SUV_{BSA} 를 각각 측정하여 VOI를 이용한 기초 자료를 확보하고자 하였으며, 궁극적으로 종양과 염증 등 병변에 대한 조기/정밀 진단수준을 향상하고자 한다. 특히, PET/CT에서 조영제를 사용하지 않았던 군과 조영제를 사용한 군의 차이를 통계학적으로 비교 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 대상

2012년 7월부터 8월까지 전신 F-18 FDG PET/CT 전신 검사를 시행한 총 31명을 대상으로 SUVs를 측정 하였다. 본 연구는 임상시험위원회(institutional review board: IRB)의 승인을 얻었으며, 측정의 정확도를 높이고자 핵의학 전문의의 소견으로 이중에서 26명의 건강한 수검자를 대상으로 하였다. 이들은 남자가 6명, 여자가 20명이었다. 나이는 35세에서 75세로 평균연령은 52.5세였다. 신장은 145 cm에서 177 cm로 평균 신장은 160.0 cm, 체중은 40 kg에서 76 kg까지 평균 체중은 57.8 kg, 조영제를 투여하지 않은 사람은 10명, 투여한 사람은 16명이었다.

2. 방법

1) PET/CT 영상 획득: 검사자들은 검사 전 최소한 6시간을 금식하였고, F-18 FDG 주사 직전 측정된 혈당치가 180 mg/dl 이하일 때 주사하였다. F-18 FDG 8.14 MBq/kg를

정맥 주사하고 60~90분 후 PET/CT (Discovery VCT, GE Milwaukee, USA)를 이용하여 영상을 획득하였다. 머리에서 근위대퇴까지 45 초간 감쇠보정용 CT (두께: 3.75 mm, 140 kVp, 120 mA) 영상을 먼저 얻은 후, CT 스캔과 같은 범위의 방출영상을 3D-mode로 하여 한 bed 당 3분씩 7~9 bed를 얻었다. PET 영상은 배열된 부분집합 기대값 최대치화(ordered subsets expectation maximization method, OSEM) 알고리즘방식으로 재구성하였으며 CT 영상을 이용하여 감쇠보정 하였다.

2) 데이터 획득 과정: PET 데이터는 감쇠보정 되었으며, OSEM방식으로 재구성되었다. 감쇠 지도(attenuation maps)는 PET/CT 스캐너의 후처리 소프트웨어 도구를 이용한 기존의 방식에서 두 개의 선에 의한 CT 데이터로부터 획득하였다. 정확하지 않은 정합(registration)은 SUVs의 정량화에 심각한 문제를 발생시킬 수 있으므로 본 연구에서 사용한 감쇠보정 인자(an attenuation correction factor)는 배경(background) 0.1 cm^{-1} , 폐(lung) 0.018 cm^{-1} , 지방(fat) 0.086 cm^{-1} , 연부조직(soft tissue) 0.1 cm^{-1} 이었다. 이러한 감쇠보정은 PET 영상을 재구성하는데 사용되었다.

3) 영상 분석: CT 데이터, PETAC_CT는 워크스테이션으로 전송되었다(Syngovia-3D Fusion, Siemens Medical Solution, Erlangen, Germany). Syngovia에 등록된 모든 영상은 자동 평가되고, 필요하면 개별적(local)으로 수동으로 조절할 수 있다. PET/CT의 정량화 능력을 평가하기 위하여 3D Fusion MM Oncology를 이용하여 모니터에 관상면(coronal plane), 시상면(sagittal plane), 횡단면(transverse plane)을 각각 나타내었다. 횡단면 영상에 VOI의 해부학적 위치는 관련 문헌을 참조하였고,¹⁵⁾ 핵의학 전문의의 도움을 받아 선정하였다.

간(segment 6, 3 cm^3), 비장(splenic hilum, 2 cm^3), 대동맥(취장부위, 1.5 cm^3), 골수(허리뼈 1, 2, 3 body center, 1 cm^3), 허리뼈 5 (상중 관에서 양극 다열근 내, 1 cm^3), 소뇌(정중앙, 2 cm^3)를 선정하여 그렸으며 두 개의 선으로 관상면, 시상면, 횡단면에서 부피의 해부학적 위치를 일치시켰다(Fig. 1).

SUVs는 LBM, BW, BSA를 이용하여 정상조직 내의 VOI를 각각 최대치(maximum), 평균치(mean), 표준편차(standard deviation, SD), 역치(threshold)로서 평가하였다. SUVs에서 치밀골의 영향으로 뇌를 제외하며, 조영제의 사용 때문인 잠재적인 위험성을 우려하고 있어,¹⁶⁾ 본 연구에서는 소뇌를 포함해 측정하였으며, PET/CT에서 조영제의 사용도 허용하였다. 종양에 대한 PET 응답기준(PET Response Criteria in Solid Tumors: PERCIST)에서는 최고치(peak)를 권고하나



Fig. 1. Measurements of SUVs in the PET/CT.

정상조직에서는 측정되지 않았다.¹⁵⁾

측정하고자 하는 부위에 해당하는 부피를 설정하면 SUVs-최대치는 자동 측정되었으며, 평균 40% isocontour VOI에 의해 계산되었다.

4) 통계 분석: 모든 자료의 통계 분석은 윈도우용 SPSS 소프트웨어(SPSS Inc, version 20.0)를 이용하여 시행하였다. PET/CT에서 SUV_{LBM}, SUV_{BW}, SUV_{BSA}의 최대치, 평균치, 표준편차, 역치를 빈도분석 하였다.

PET/CT에서 조영제를 사용하지 않은 군과 조영제를 사용한 군의 비교는 대응표본 t-test를 실시하였다. 모든 통계 분석에서 p값은 0.05 미만인 경우에만 통계적으로 유의한 것으로 인정하였다.

결 과

1. 조영제를 미사용한 PET/CT의 SUVs 측정

조영제를 사용하지 않았던 PET/CT를 수행한 건강 검진자들의 SUVs 측정치를 각각 빈도 분석하였다. 성별은 남자가 2명, 여자가 8명이었으며, SUV_{LBM}, SUV_{BW}, SUV_{BSA}로 분류하여 Table로 제시하였다. 조영제를 사용하지 않았을 때 PET/CT의 SUVs 측정에서 SUV_{BW}가 측정치가 가장 높았으며, SUV_{LBM}, SUV_{BSA}순으로 나타났다(Table 1).

2. 조영제를 사용한 PET/CT의 SUVs 측정

조영제를 사용하여 PET/CT를 수행한 건강 검진자들의

Table 3. Paired samples test of SUV_{LBM}-maximum.

| | | Paired differences | | | | | | | |
|-------|---------------|--------------------|---------|-----------------|---|----------|---------|----|-----------------|
| | | Mean | SD | Std. error mean | 95% confidence interval of the difference | | t | df | Sig. (2-tailed) |
| | | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair1 | CM-Liver | -0.36000 | 0.60105 | 0.11787 | -0.60277 | -0.11723 | -3.054 | 25 | 0.005 |
| Pair2 | CM-Spleen | 0.03231 | 0.58245 | 0.11423 | -0.20295 | 0.26757 | 0.283 | 25 | 0.780 |
| Pair3 | CM-Aorta | 0.22423 | 0.51760 | 0.10151 | 0.01517 | 0.43330 | 2.209 | 25 | 0.037 |
| Pair4 | CM-L1 | -0.18000 | 0.73771 | 0.14468 | -0.47797 | 0.11797 | -1.244 | 25 | 0.225 |
| Pair5 | CM-L2 | -0.29500 | 1.10355 | 0.21642 | -0.74073 | 0.15073 | -1.363 | 25 | 0.185 |
| Pair6 | CM-L3 | -0.07500 | 0.66106 | 0.12964 | -0.34201 | 0.19201 | -0.579 | 25 | 0.568 |
| Pair7 | CM-L5 | 0.93269 | 0.53849 | 0.10561 | 0.71519 | 1.15019 | 8.832 | 25 | 0.000 |
| Pair8 | CM-Cerebellum | -4.1157 | 1.1612 | 0.22773 | -4.5847 | -3.64675 | -18.073 | 25 | 0.000 |

CM: contrast media.

SUVs 측정값을 각각 빈도 분석하였다. 성별은 남자가 4명, 여자가 12명이었으며, SUV_{LBM}, SUV_{BW}, SUV_{BSA}로 분류하여 표로 제시하였다. 조영제를 사용했을 때 PET/CT의 SUVs 측정에서 SUV_{BW}가 측정치가 가장 높았으며, SUV_{LBM}, SUV_{BSA} 순으로 나타났다.

조영제 사용 유무에 따른 PET/CT의 측정치 차이를 비교해 본 결과 전체적으로 조영제를 사용했을 때가 SUVs 측정치가 증가하였다(Table 2).

3. 조영제 사용 유무에 따른 PET/CT의 SUVs의 비교

조영제를 사용하지 않은 군과 조영제를 사용한 군의 SUV 차이를 비교하기 위하여 SUV_{LBM}-maximum을 이용하여 대응 표본 t-test를 실시하였다.

조영제를 사용함으로써 인하여 간, 대동맥, 요추-5, 그리고 소뇌의 SUV_{LBM}-maximum 측정치는 뚜렷하게 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.05).

고찰 및 결론

본 연구에서는 PET/CT에서 정상부위에 VOI를 이용하여 SUVs 데이터를 제시하였다. PET/CT는 많은 경우에서 신생물의 진행, 뼈의 이상, 폐, 림프샘에서 영상 해석을 정확하게 기술하였다.¹⁷⁾

본 연구와 관련하여 2차원적 ROI를 이용한 정상부위의 영상을 평가한 S zincirkeser의 SUV_{BW}-최대치의 연구결과와 비교하였다.¹⁰⁾ 남자는 소뇌 10.5, 간 5.0, 비장 4.1, 대동맥 3.1, 그리고 허리뼈-1이 5.2로 나타났으며, 여자는 소뇌 10.1, 간 3.8, 비장 3.2, 대동맥 2.9, 허리뼈-1이 4.5로 나타났

다. 본 연구에서는 남자는 소뇌 6.5, 간 2.4, 비장 1.8, 대동맥 1.2, 그리고 허리뼈-1이 2.5로 나타났으며, 여자는 소뇌 7.4, 간 2.6, 비장 2.0, 대동맥 1.9, 그리고 허리뼈-1이 2.4로 나타났다. 이는 3차원적 VOI를 이용한 본 연구결과에서 SUV_{BW}가 낮게 나타남을 알 수 있었으며, 더 많은 부위에서 더 많은 SUVs를 측정할 필요성이 제기된다.

본 연구에서는 PET/CT에 조영제 사용유무에 따른 SUVs의 비교를 SUV_{LBM}-최대치를 이용하여 비교하였다. 이는 실제 연구 중에서 SUV_{LBM}을 이용한 측정을 권고하고 있으며, 병소의 크기가 일정하지 않아 표준섭취계수의 평균값을 구하면 데이터의 획득 시마다 불안정하므로 SUVs 최대치를 이용한다고 하였다.¹²⁾ 이와 관련하여 SUV_{LBM}, SUV_{BW}, SUV_{BSA}의 각 최대치를 포함하여 측정하여 Table로 제시하였다 (Table 3).

SUV는 다양한 요인에 의해 영향을 받으며 영향을 미치는 요인은 다음과 같다. 우선 먼저 환자의 체격은 몸의 비중을 1로 하여 계산하는 방법으로, FDG 섭취가 매우 미약하고 체지방이 많은 사람에게서는 투여량의 체중보정으로 과 보정될 수 있다. 혈당치의 높고 낮음은 종양의 FDG 섭취를 방해할 수 있는 요인이 되며, PET에서는 일반적으로 병소가 주위에 비해 높은 섭취를 보이기 때문에 측정대상의 크기가 공간분해능의 5배 정도로 충분히 크지 않으면 부분용적효과(partial volume effect, PVE)에 의해 측정된 방사능이 실제의 방사능보다 낮게 산출된다고 하였다.¹²⁾

SUVs의 데이터가 측정된 8곳의 정상 장기에서는 F-18 FDG의 경우 균일하다고는 하나 PET 영상에서 생리적인 상위 역치를 구하기가 어려운 이유로 종양이나 염증의 진단은 일반적으로 높은 섭취율과 연관되어 진단하는데 한계

가 있으므로,¹⁰⁾ PET/CT에서 위양성과 위음성을 줄이기 위한 적절한 대책으로 VOI를 이용한 정상부위의 SUVs 데이터를 알고 있어야 할 것이다. 전신 F-18 FDG PET/CT에서 조영제를 사용하지 않은 군과 조영제를 사용한 군을 비교했을 때 조영제를 사용함으로써 SUVs가 증가하는 양상을 보이고 있으며, SUV_{LBM}-최대치를 이용하여 비교했을 경우 8 부위 중 간, 대동맥, 요추-5, 그리고 소뇌는 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.05).

PET/CT의 모든 영상의 판독에서 본 SUVs 데이터가 조 기정밀/ 진단 수준을 향상 하는데 기초 자료가 될 것이라 고 판단되며, VOI를 이용한 연구가 활발히 이루어지길 기 대한다.

참 고 문 헌

1. **Park SY**: Consideration on the satisfaction of patients and Variation according to whether or not to listen to music after F-18 FDG Injection. The Graduate School of Bio-Medical Science, Korea University (2013)
2. **Oriuchi N, Higuchi T, Ishikita T, et al**: Present role and future prospects of positron emission tomography in clinical oncology. *Cancer Sci* 97(12):1291-1297 (2006)
3. **Hany TF, Steinert HC, Thomas F**: Integrated PET/ CT: current applications and future direction. *Radiology* 238(1): 405-422 (2006)
4. **Benamor M, Ollivier L, Brisse H, Moulin R, Servois V, Neuenschwander S**: The clinical role of CT/ PET in oncology: an update. *Cancer Imaging* 5(8):68-75 (2005)
5. **Bar-Shalom R, Yefremov N, Guralnik L, et al**: Clinical performance of PET/CT in evaluation of cancer: additional value for diagnostic imaging and patient management. *The Journal of Nuclear Medicine* 44(9):1200-1209 (2013)
6. **Weber WA**: Positron emission tomography as an imaging biomarker. *J Clin Oncol* 24(20):3282-3292 (2006)
7. **Czernin J, Allen M, Schelbert R**: Improvements in cancer staging with PET/CT: Literature based evidence as of September. *J Nucl Med* 48(1):78-88 (2007)
8. **Tian M, Zhang H, Nakasone Y, Mogi K, Endo K**: Expression of Glut-1 and Glut-3 in untreated oral squamous cell carcinoma compared with FDG accumulation in a PET study. *31(1):5-12* (2004)
9. **Tohma T, Okazumi S, Makino H, et al**: Relationship between glucose transporter, hexokinase and FDG-PET in esophageal cancer. *Hepato-Gastroenterol* 52(62):486-490 (2005)
10. **Zincirkeser S, Şahin E, Halac M, Sageret S**: Standardized uptake values of normal organs on 18F-Fluorodeoxyglucose positron emission tomography and computed tomography imaging. *J Int Med Res* 35(2):231-236 (2007)
11. **Boellaard R**: Standards for PET image acquisition and quantitative data analysis. *J Nucl Med* 50(1):11-20 (2009)
12. **Lee HS**: A study for distortion of standardized uptake value according to the does and lesion size using 18F-FDG PET/CT. *Graduates School Korea Univ* (2012)
13. **Bushnell D, Madsen M, Menda Y, et al**: Evaluation of various corrections to the standardized uptake value for diagnosis of pulmonary malignancy. *Nucl Med Common* 22(1): 1077-1081 (2001)
14. **Zasadny KR, Wahl RL**: Standardized uptake values of normal tissues at PET with 2-[fluorine-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose: variations with body weight and a method for correction. *Radiology* 189(1):847-850 (1993)
15. **Wahl RL, Jacene H, Kasamon Y, Lodge MA**: From RECIST to PERCIST: evolving considerations for PET response criteria in solid tumors. *JNM* 50(1):122-149 (2009)
16. **Eiber M, Martinez-Möller A, Souvatzoglou M, et al**: Value of a Dixon-based MRI/PET attenuation correction sequence for the localization and evaluation of PET-positive lesions. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 38(5):1691-1701 (2011)
17. **Boellaard R, O'Doherty Mike J, Weber Wolfgang A, et al**: FDG PET and PET/CT: EANM procedure guide-lines for tumour PET imaging: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 37(10):181-200 (2010)

F-18 FDG PET/CT 전신 영상에서 SUVs 측정에 기반한 조기/정밀 진단 연구

*대구보건대학교 방사선과, 영남대학교 의과대학 †방사선종양학교실, ‡핵의학교실,
§순천향대학교 구미병원 영상의학과

박정규* · 김성규† · 조인호‡ · 공은정‡ · 박명환* · 조복연§

본 연구의 목적은 건강한 검진자들을 대상으로 F-18 FDG PET/CT 전신 영상에서 진단 수준을 향상하고자 관심부피를 이용하여 정상부위의 SUVs, 즉 SUV_{LBM} , SUV_{BW} , SUV_{BSA} 의 데이터를 마련하였다. 각각의 최대치(maximum), 평균치(mean), 표준편차(standard deviation), 역치(threshold)를 제시 하고자 한다. 2012년 7월부터 8월까지 전신 F-18 FDG PET/CT 검사를 시행한 총 31명을 대상으로 SUVs를 측정 하였다. 측정의 정확도를 높이고자 핵의학 전문의의 소견으로 이중에서 26명의 건강한 수검자를 대상으로 하였다. 조영제 사용유무와 관계없이 PET/CT의 SUVs 측정에서 SUV_{BW} 의 측정치가 가장 높았으며, SUV_{LBM} , SUV_{BSA} 순으로 나타났다. SUV_{LBM} -최대치를 이용하여 조영제를 사용하지 않은 군과 사용한 군을 비교했을 경우, 조영제를 사용했을 경우 측정치가 증가하는 경향을 보였으며, 8부위 중 간, 대동맥, 요추-5, 소뇌는 매우 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). PET/CT의 모든 영상의 판독에서 본 SUVs 데이터가 조기정밀/진단 수준을 향상 하는데 기초 자료가 될 것이라고 판단되며, VOI를 이용한 연구가 활발히 이루어지길 기대한다.

중심단어: F-18 FDG PET/CT, 관심부피, SUVs, 조영제