

F-18-FDG 감쇠보정 전신 PET을 이용한 표준섭취계수 추정과 매개변수 영상의 구성

서울대학교병원 핵의학과, 한양대학교 물리학과*

김경민 · 곽철은 · 이동수 · 정재민 · 정준기 · 이명철 · 고창순 · 김영진*

= Abstract =

Parametric Images of Standardized Uptake Values using F-18-FDG Attenuation Corrected Whole Body PET

Kyeong Min Kim, M.Sc., Cheoleun Kwark, Ph.D., Dong Soo Lee, M.D.
Jae Min Jeong, Ph.D., June-Key Chung, M.D., Myung Chul Lee, M.D.
Chang-Soon Koh, M.D. and Yong Jin Kim, Ph.D.*

*Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital
Department of Physics, Hanyang University* Seoul, Korea*

Background and Purpose: Standardized uptake value(SUV) has been used as a quantitative index for differentiating benign and malignant tumors with F-18-FDG PET. In this study, we produced whole body parametric images of SUV(WBPIS) by body weight normalization, and validated the values by comparison with SUV's calculated with regional scans.

Subjects and Methods: Whole body scans were followed by regional scans sequentially on 23 patients. In whole body study, transmission and emission scans were acquired for 2 minutes and 6 minutes for each bed position, respectively. In regional study, transmission and emission scans were acquired for 20 minutes. Measured and segmented/smoothed attenuation correction were applied using these 2 min transmission scans in whole body studies. The effects of attenuation correction on SUVs were evaluated quantitatively using F-18 filled cylindrical phantom. The mean and peak SUVs obtained from WBPIS were compared with SUVs of the regional scans.

Results: In phantom studies, with any method of attenuation correction using regional or whole body studies of phantom, SUVs were nearly consistent. In whole body scan, SUV obtained using measured attenuation correction method was a little higher than SUV of regional scan. SUV obtained using segmented/smoothed attenuation correction method was a little lower. In patient studies, WBPIS using segmented/smoothed attenuation correction method was much smoother and more readable. SUVs of WBPIS obtained with both methods of attenuation correction were well correlated with SUVs of regional scans($r=0.9$). SUVs of WBPIS with measured attenuation correction method were 5% lower than SUVs of regional scans. SUVs of WBPIS with segmented/smoothed attenuation correction method were 10% lower than SUVs of regional scans. The differences of SUVs of WBPIS by the two attenuation correction methods were relatively small compared with the possible differences derived from biological characteristics of tumors.

Conclusion: We concluded that WBPIS could be useful in the quantification of tumor as well as in localization of whole body lesions, which were often outside the field of view

이 연구는 1995년도 서울대학교병원 지정진료연구비(02-95-204)의 보조로 이루어졌습니다.

in regional scan. WBPIs made using segmented/smoothed attenuation correction method could be used in clinical routines and SUVs from attenuation corrected F-18-FDG PET could be used interchangeably with SUVs of regional studies.

Key Words : SUV, F-18 FDG PET, Whole body scan, Attenuation correction

서 론

악성 종양을 진단할 때 종양을 국소화하고 종양의 포도당 대사율을 평가하는 방법으로 F-18 표지 FDG(F-18-2-fluoro-2-deoxy-D-glucose) 양전자 단층촬영(positron emission tomography; PET)이 널리 쓰인다. 종양에 섭취되는 F-18-FDG가 나타내는 포도당 대사율이 종양의 악성도와 밀접한 상관관계가 있다는 것이 알려졌다.

종양의 절대 포도당 섭취율을 계산하려면 데이터를 동적으로 수집(dynamic acquisition)하여야 한다. 종양에 섭취되는 F-18-FDG 양이 포도당 대사율과 대체로 비례한다고 가정하고 F-18-FDG 섭취량을 비동력학적으로 정량화(nonkinetic quantification)할 수 있다. 체내에 주입된 F-18-FDG가 체내의 모든 곳에 고루 분포하였을 때를 기준으로 하여 종양병소에 포도당 섭취량이 얼마인지를 나타낸 이 계수가 표준섭취계수(standardized uptake value; SUV)로 보고되었다¹⁾. 투과스캔으로 감쇠를 보정한 국소스캔(regional scan)으로 손쉽게 SUV를 계산할 수 있다. 감쇠보정이 필요한 이유는 PET 촬영에 이용되는 감마선도 인체 내부일수록 감쇠현상이 가중되어 중심에 가까울수록 감쇠가 크고 가장자리는 감쇠가 작기 때문이다. 뇌와 같이 비교적 감쇠분포가 균일한 기하학적 구조일 때는 수학적 감쇠모델을 써서 계산하여 감쇠를 보정할 수 있지만 뇌 이외의 신체 부위는 감쇠가 불균일하므로 감쇠데이터를 얻어야 정량적인 PET 영상을 얻을 수 있다.

실제 임상 예에는 국소스캔을 시행하는 범위 너머에 전이병소가 보이는 경우가 흔하다. 전이병소도 F-18-FDG의 섭취 정도를 평가하여 전이 여부를 판단한다. 그런데 전신스캔은 동적 영상획득이 불가능하여 포도당 대사율을 구할 수 없다. 전신스캔도 국소스캔처럼 베드마다 모두 투과스캔을 하면 전신에 흩어진 여러 병소의 SUV를 구할 수 있다. 그러나 전신을 국

소로 나누어 투과스캔과 방출스캔(emission scan)을 시행하는 데는 너무 오랜 시간이 걸리므로 실용적이지 않다.

전신스캔시 각 베드당 투과스캔 시간을 짧게 하고 도 분할편평화(segmented smoothing) 방법으로 재구성하여 감쇠파일을 만들어 감쇠보정하는 방법(segmented/smoothed attenuation correction method)이 제안되었다^{2,3)}. 분할/편평화 감쇠보정 방법으로 재투사 영상을 구성하여 관독하는 데 사용할 수 있음은 보고되었으나 이 방법으로 SUV를 구할 수 있는지, SUV의 영상을 만들었을 때 사용하기에 적절한지 알려져 있지 않다.

이 연구에서는 측정 감쇠보정영상에 더하여 분할/편평화 감쇠보정 방법을 적용하여 SUV 산출방법을 고안하고, 체중으로 정규화한 전신 매개변수 영상(whole body parametric images of SUV)을 만든 후, 매개변수 영상에 표시한 SUV의 차이점을 평가하여 전신 SUV 매개변수 영상의 유용성을 제안하고자 하였다. 이를 위하여 전신영상 구성과정에서 분할/편평화 감쇠보정 방법(segmented/smoothed attenuation correction method)을 이용하여 감쇠보정하고 SUV를 구하여 매개변수 영상을 만들어서, 측정 감쇠보정 방법(measured attenuation correction method)으로 구한 SUV와 차이를 보았다.

대상 및 방법

1. 국소 및 전신 PET 촬영 프로토콜

PET촬영은 전신촬영과 국소촬영으로 나누어 시행하였다. F-18-FDG를 주사하기 전 환자를 베드(bed)에 누인 후 투과스캔(transmission scan)과 방출스캔(emission scan)에서 촬영부위를 일치시키기 위해 전신스캔의 시작점과 국소스캔을 시행할 부위에 조준점들을 각각 표시하였다. 투과스캔은 전신을 6베드로 나누어 ECAT EXACT 47(Siemens-CTI, Knoxville, U.S.A.) PET 스캐너(BGO crystal detector, Block

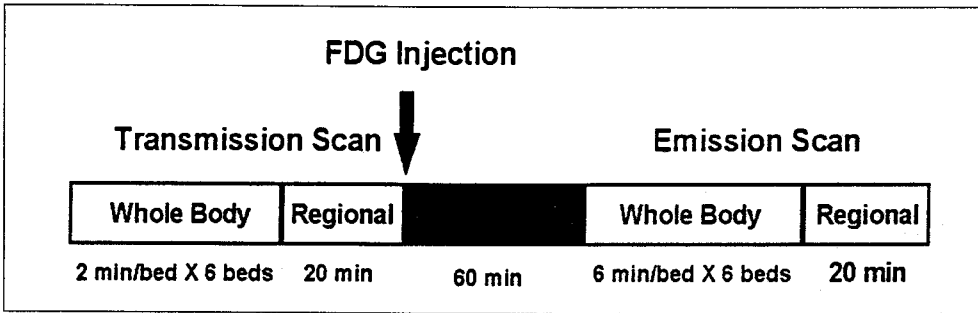


Fig. 1. Scan protocol of regional and whole body PET.

검출기, 공간 분해능=6.1mm, 축방향 분해능=4.3mm, 예민도=214kcps/ μ Ci/ml)로 각 베드당 2분씩 Ge-68 막대형 선원에 의한 전신 투과스캔을 먼저 시행하였고, 이어 단일베드에 대해 20분간의 국소 투과스캔을 시행하였다. 투과스캔이 끝난 후 555MBq(15mCi)의 F-18-FDG를 정맥주사하고 베드에서 내려와 편안한 상태로 쉬게 하였다. 조직에서의 F-18-FDG 농도가 평형상태에 이르게 하기 위해⁴⁾ 주사 후 60분에 PET 스캐너에 장착된 레이저 빔(beam)을 이용하여 투과스캔을 시행할 때 표시한 조준점을 맞춘 후 전신 6베드에 대해 각 베드당 6분간의 방출스캔과 해당 단일베드에 대해 20분간의 국소 방출스캔을 순차대로 시행하였다(Fig. 1).

2. 감쇠보정

감쇠보정을 위해 국소촬영과 전신촬영 과정에서 모두 투과스캔을 시행하였다. 국소촬영에서는 방출스캔과 같은 20분간의 투과스캔을 시행하였으나, 전신촬영에서는 각 베드당 투과스캔 시간은 2분, 방출스캔 시간은 각 베드당 6분간 시행하였다.

국소 영상구성을 할 때는 투과스캔에 의해 생성된 감쇠파일을 그대로 이용하는 측정 감쇠보정 방법을 이용하여 감쇠보정하였다.

전신 영상구성을 할 때는 투과스캔에 의해 생성된 감쇠파일을 그대로 이용하는 측정 감쇠보정 방법과 분할/편평화 과정을 통하여 감쇠파일을 재구성한 후 이 재구성된 파일을 이용하는 분할/편평화 감쇠보정 방법을 각각 적용하여 감쇠보정하였다.

측정 감쇠보정 방법은 촬영과정에서 투과스캔에 의해 직접 생성된 감쇠파일을 그대로 이용하여 보정하였

다. 분할/편평화 감쇠보정 방법은 투과스캔 후 생성된 투과스캔 파일을 이용하여 투과 단층상(transmission image)을 구성하고 이 투과 단층상으로부터 분할/편평화된 투과 단층상(segmented transmission image), 분할/편평화된 투과스캔 파일(segmented transmission scan file), 그리고 분할/편평화된 감쇠 파일(segmented transmission attenuation file)을 각각 재구성하여 수행하였다.

3. SUV 계산

SUV를 계산하기 위해 체내 F-18-FDG 분포를 정규화하는 방법으로는 환자의 체중(body weight)을 이용하였다.

$$\text{표준섭취계수} = \frac{\text{조직내의 FDG 농도(mCi/g)}}{\text{FDG 주사량(mCi)/환자의 체중(g)}} \quad (1)$$

F-18-FDG 주사량은 환자에게 주사된 F-18-FDG의 양을 나타내고 조직의 F-18-FDG 농도는 PET으로 촬영한 계수를 나타낸다.

$$\text{조직내의 FDG 농도(mCi/g)} = \frac{\text{조직내의 섭취량(mCi)}}{\text{조직의 밀도(g/cc) \times 조직의 체적(cc)}} \quad (2)$$

조직의 밀도를 1(g/cc)로 놓고 조직의 섭취량을 다음과 같이 구하였다.

$$\text{조직의 섭취량(mCi)} = \frac{\text{조직의 화소당 계수율(CPSPP)}}{\text{원통형 모형의 화소당 계수율(CPSPP)}} \quad (3)$$

원통형 모형의 방사능(mCi)

원통형 모형의 화소당 계수율을 화소체적으로 나누면 원통형 모형의 단위체적당 계수율이 된다. 따라서

$$\text{모형의 체적 전체의 계수율(CPS}_c\text{)} = \frac{\text{모형의 화소당 계수율(CPSPP}_c\text{)} \times \text{모형의 체적(cc)}}{\text{화소 체적(cc)}} \quad (4)$$

모형의 단위 방사능당 체적전체의 계수율의 분율이 유효 계수율이라고 하면 같은 비율이 조직에도 적용된다.

$$\text{유효 계수율(CPS}_c\text{/mCi)} = \frac{\frac{\text{모형의 화소당 계수율(CPSPP}_c\text{)}}{\text{모형의 체적(cc)}}}{\frac{\text{화소 체적(cc)}}{\text{모형의 방사능(mCi)}}} \quad (5)$$

조직의 화소당 계수율을 화소체적으로 나누면 조직체적당 계수율이 된다.

$$\text{조직의 단위체적당 계수율(CPS}_t\text{)} = \frac{\text{조직의 화소당 계수율(CPSPP}_t\text{)}}{\text{화소 체적(cc)}} \quad (6)$$

조직의 단위체적당 계수율을 유효계수율로 나누면 ((6)/(5)) 조직내의 F-18-FDG의 양이 된다.

$$\text{조직의 FDG 섭취량(mCi)} = \frac{\frac{\text{조직의 화소당 계수율(CPSPP}_t\text{)}}{\text{모형의 방사능(mCi)}}}{\frac{\text{모형의 화소당 계수율(CPSPP}_c\text{)}}{\text{모형의 체적(cc)}}} \quad (7)$$

식(7)에서 환산계수(conversion factor)를 다음과 같이 정의하면,

$$\text{환산계수} = \frac{\text{모형의 방사능(mCi)}}{\frac{\text{모형의 화소당 계수율(CPSPP}_c\text{)}}{\text{모형의 체적(cc)}}} \quad (8)$$

조직의 F-18-FDG 섭취량은 다음의 식으로 계산된다.

$$\text{조직의 FDG 섭취량(mCi)} = \text{환산계수} \times \text{조직의 화소당 계수율(CPSPP}_t\text{)} \quad (9)$$

따라서 SUV는 식(1)과 식(9)을 이용하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{표준섭취계수} = \text{환산계수} \times \frac{\text{조직의 화소당 계수율(CPSPP}_t\text{)}}{\text{FDG 주사량(mCi)/환자의 체중(g)}} \quad (10)$$

4. 국소 및 전신 환산계수 설정

ECAT EXACT 47 PET 스캐너로 국소와 전신 PET를 촬영하여 얻은 화소값은 측정된 조직의 화소당 계수율을 표현한다. 이 화소당 계수율을 SUV로 변환시키기 위하여 환산계수를 계산하였다.

모형실험을 시행하였다. 6,300cc의 원통형 모형에 37MBq(1mCi)의 F-18-FDG를 넣고 물로 채워 충분히 섞은 후 국소스캔을 시행하였다. 확대인자(zoom factor) 1.0, 차단주파수 0.30cycles/pixel인 Shepp 여과기를 이용하여 단층상을 재구성하였다. 다시 모형을 놓고 3베드위치에서 전신 스캔을 시행하였다. 역시 확대인자(zoom factor) 1.0, 차단주파수 0.30cycles/pixel인 Shepp 여과기를 이용하여 단층상을 재구성하였다.

국소스캔의 경우 47개의 횡단면상 중 각 횡단면에서 유효시야내에 관심영역을 그린 후 모든 횡단면에 대한 관심영역의 총계수(total counts)와 평균계수(average counts)를 얻었다. 47개의 횡단면에 대한 관심영역의 평균계수 중 처음과 마지막 횡단면을 제외한 45개의 횡단면에 대한 평균값을 구하여 이 값을 원통형 모형의 화소당 계수율(counts per second per pixel: CPSPP_c)로 사용하여 국소 환산계수(regional conversion factor)를 구하였다.

전신스캔의 환산계수는 ECAT의 전신영상을 처리하는 특징 때문에 국소 환산계수와 다른 방법으로 구하였다. ECAT은 전신영상의 여러 베드 위치에서 얻은 일련의 횡단면 단층상을 각 베드에 따라 재배열하고 배열된 파일로부터 다시 전신에 대한 횡단면, 관상면, 시상면을 재구성하여 각각의 파일로 저장한다. 각 파일은 전신 횡단면상으로 저장될 때 임의의 영상 정량화 비율 인자(quantification scale factor)를 기준으로 재규격화된다. 즉 원래 계측된 영상 화소값이 실제 측정값을 잃고 최고 118로 조정된 값으로 바뀐다. 이렇게 조정된 영상 화소값을 원래 계측된 값이 되도록 재조정하기 위하여 비율인자(scale factor)를 구하였다. 이 비율인자를 이용하여 원래 계측값을 얻은 후

에는 국소 환산계수와 같은 방법으로 환산계수를 구하였다. 재조정값 비율인자가 환산계수에 포함되도록 하여 전신 환산계수(whole body conversion factor)를 구하였다.

5. SUV 매개변수영상의 구성

모형실험에 의해 설정된 국소와 전신 환산계수를 SUV 산출식에 적용하여 SUV 매개변수 영상을 구성하였다. 국소스캔은 국소 횡단면 단층상을 SUV 매개변수 영상으로 재구성한 후 이를 횡단면, 관상면, 시상면으로 각각 저장하여 모든 단층상에서 SUV를 알아볼 수 있도록 하였다.

전신영상을 SUV 전신 매개변수 영상으로 재구성하고 이 매개변수 영상을 전신 관찰화면을 통해서 횡단면, 관상면, 시상면의 파일로 저장한 후 각 단층상 파일의 화소값의 크기를 비율인자로 보정하였다.

각각 보정된 단층상에서 보이는 SUV를 국소스캔과 동일한 단면에서 직접 관찰할 수 있도록 하였다. 매개변수 영상의 관찰 화면에서 SUV는 최소값을 0으로 최대값을 10으로 하여, 0에서 10사이의 값을 균일하게 10등분하여 색상을 배분하여 표현하였다. 10이상의 값에 대해서는 영상으로 표현할 때 포화(saturation)되도록 하였다.

6. 매개변수영상의 비교

원통형모형으로 국소스캔을 시행하여 재구성 파일을 만들고 전신스캔을 시행하여 측정 감쇠보정 방법과 분할/편평화 감쇠보정 방법으로 재구성한 파일을 만들었다. 47개의 횡단면 중 중앙의 단면에서 횡단면 면적의 70%만한 원형 관심영역을 그렸다. 위에서 계산한

국소 및 전신 환산계수를 이용하여 SUV를 구하였다.

국소와 전신스캔을 모두 촬영한 23명의 중앙환자에 대해 SUV 매개변수 영상을 만들었다. 23명 중 3명은 국소스캔을 경부에 18명은 흉부에 2명은 골반부에 얻었다. 육안으로 보아 대사가 가장 증가된 것으로 보이는 병변을 한 환자에서 하나씩 골라 관심영역으로 설정하였다. 국소 매개변수 영상에서 병소라 판단되는 횡단면 부위에 원형의 관심영역을 그려 병소의 SUV를 구하였고, 전신 매개변수 영상에서는 국소 매개변수 영상과 같은 횡단면 부위에 동일한 관심영역을 그려 산출된 SUV를 비교하였다. 관심부위의 SUV는 관심영역 내의 평균값과 최대값을 모두 구하였다.

결 과

1. 모형실험

원통형 모형을 이용한 실험에서 국소스캔과 두 감쇠보정 방법에 따른 전신 스캔영상을 비교하면, Fig. 2와 같이 국소스캔에 비해 측정 데이터를 이용한 감쇠보정 전신스캔의 영상질이 떨어지고 분할 편평화 감쇠보정 방법을 이용한 전신스캔 영상이 다소 우수한 화질의 영상을 보였다.

세 가지 방법으로 구한 평균 SUV는 국소스캔에서는 1.008, 측정 감쇠보정 방법과 분할 편평화 감쇠보정 방법을 이용한 전신스캔은 각각 1.016과 0.962이었다. 국소 매개변수 영상에 비해 측정 감쇠보정 방법을 이용한 전신 매개변수 영상에서 SUV는 상대적으로 높았고(+0.8%), 분할 편평화 감쇠보정 방법을 이용한 전신 매개변수 영상에서는 상대적으로 낮았다(-4.6%).

세 SUV 단층상에 대한 수평방향 프로필에서도 국

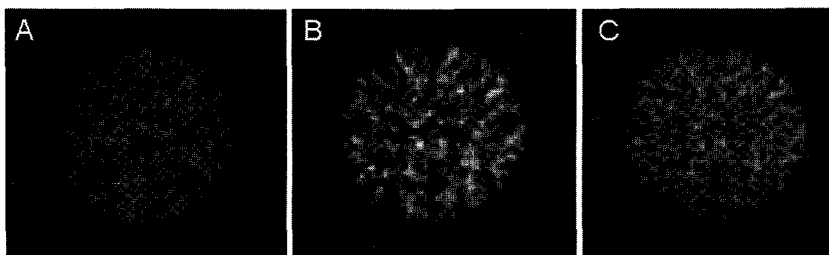


Fig. 2. Plane uniformity of phantom in (A) regional scan, whole body scan with (B) measured attenuation correction, and (C) segmented/smoothed attenuation correction.

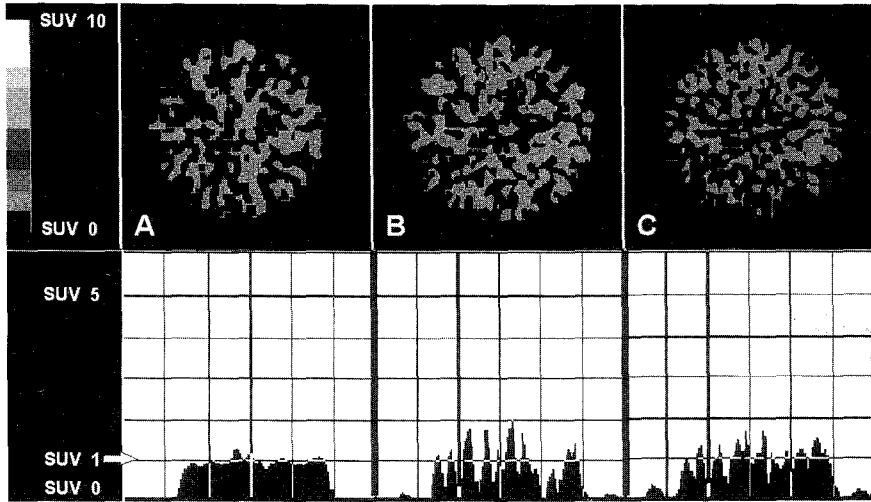


Fig. 3. SUV parametric images(upper) and transverse profiles(lower) of phantom in (A) regional scan, whole body scan with (B) measured attenuation correction, and (C) segmented/smoothed attenuation correction.

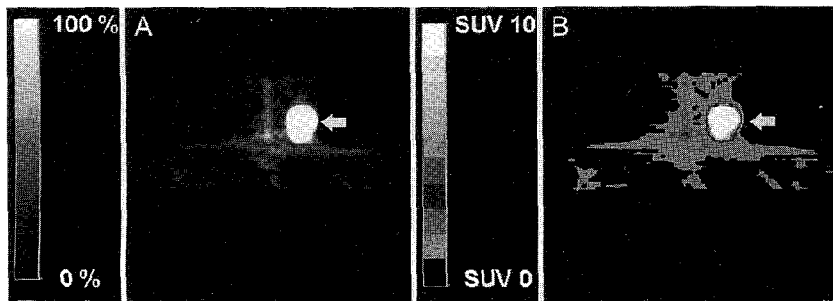


Fig. 4. (A) Regional transverse image and (B) SUV parametric image.

소영상에 대한 단층상의 프로필에 비해 전신 단층상들에 대한 프로필들이 고르지 못하였으며, 측정 감쇠보정 방법에 의한 단층상의 프로필에 비해 분할 편평화 감쇠보정 방법에 의한 단층상의 프로필이 보다 고른 분포를 보였다(Fig. 3). SUV는 분할편평화 감쇠보정 방법보다 측정 감쇠보정 방법을 이용한 경우 SUV=1에 더 가까웠다.

2. SUV 매개변수영상

같은 환자의 재구성한 PET 영상과 SUV 매개변수 영상으로서, Fig. 4(A)는 일반적으로 스캐너에서 재구성된 단층상으로 화소값이 계수율을 나타내고, Fig. 4(B)는 SUV 매개변수 영상으로 화소값이 SUV를 나타내었다. 환자 스캔상의 SUV 매개변수 영상에서

병소로 판단되는 위치에서 SUV는 명백히 높은 값(8~9)에 대응되는 색(주황, 노랑)으로 나타났다.

3. 전신 SUV 매개변수영상

전신 SUV 매개변수 영상에서 병소를 제외한 다른 부분은 회색(1~2)으로 나타나 전신에 F-18-FDG가 고르게 퍼져 있음을 보여 모델의 가정이 적합함을 보였다. 또한, 두 감쇠보정 방법에 의한 전신 매개변수 영상은 측정 감쇠보정 방법보다 분할 편평화 감쇠보정 방법에 의한 영상의 화질이 우수하였다. 평균 SUV를 이용한 평가에서는 측정 감쇠보정 방법이 국소스캔에 의한 값과 더 잘 일치하였으며, 분할 편평화 감쇠보정 방법에 의한 영상에서의 SUV는 다소 낮아 모형실험의 결과와 잘 일치하였다(Fig. 5).

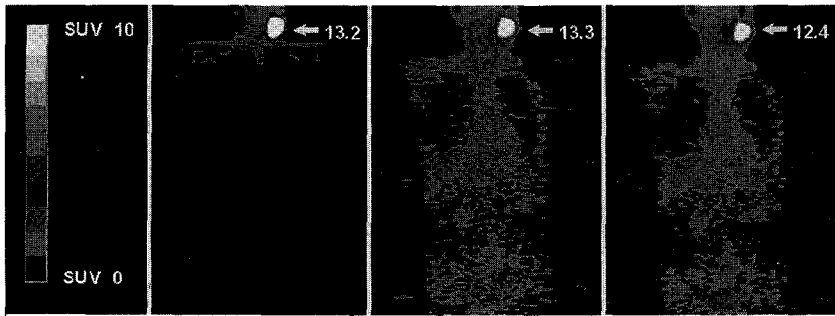


Fig. 5. Coronal SUV images from (A) regional scan, whole body scan with (B) measured attenuation correction, and (C) segmented/smoothed attenuation correction.

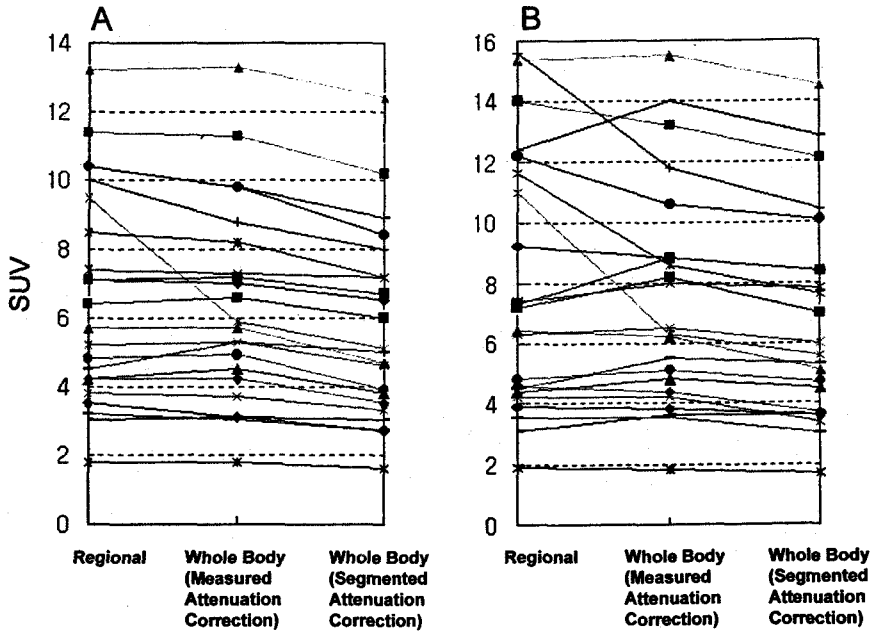


Fig. 6. Distribution of (A) mean SUV and (B) peak SUV in 23 patients.

4. 매개변수영상에 표시한 SUV의 차이점 비교

국소스캔과 전신스캔을 모두 시행한 23명의 환자에서 병소로 판단되는 부위에 대한 SUV의 평균과 최대값을 구한 결과 SUV 분포에서 국소 매개변수 영상에서의 SUV와 두가지 감쇠보정 방법을 이용한 전신 매개변수 영상의 SUV들은 평균값이나 최대값 모두 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 6).

측정 감쇠보정 방법은 국소스캔과 평균 SUV와 최대 SUV가 각각 $5.5 \pm 8.2\%$, $10.7 \pm 10.3\%$ 의 차이를

보였고, 분할/편평화 감쇠보정 방법은 각각 $13.4 \pm 9.1\%$, $14.1 \pm 11.7\%$ 의 차이를 보였다. 분할/편평화 감쇠보정 방법에 의한 SUV가 국소 매개변수 영상의 SUV에 비해 전반적으로 조금 낮았다.

측정 감쇠보정 방법에 의한 전신 매개변수 영상의 평균 SUV와 국소 매개변수 영상의 평균 SUV에 대한 선형 회귀 직선의 기울기는 0.90이었고, 분할편평화 감쇠보정 방법에 의한 SUV의 국소 매개변수 영상의 평균 SUV에 대한 선형 회귀 직선의 기울기는 0.83이었다. 최대 SUV에 대한 선형 회귀 직선의 기

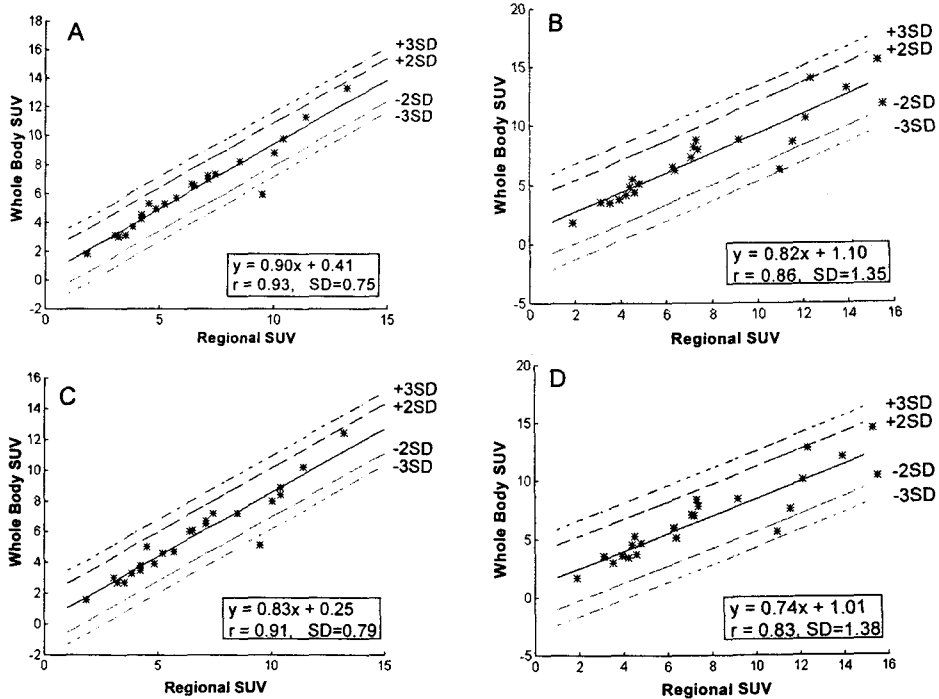


Fig. 7. Correlations of regional SUV with (A) mean whole body SUV by measured attenuation correction, (B) peak whole body SUV by measured attenuation correction, (C) mean whole body SUV by segmented/smoothed attenuation correction, and (D) peak whole body SUV by segmented/smoothed attenuation correction.

올기는 측정 감쇠보정 방법이 0.82, 분할/편평화 감쇠보정 방법이 0.74이었다(Fig. 7).

두가지 감쇠보정 방법에 의한 전신 매개변수 영상에서 측정 감쇠보정 방법으로 구한 평균 SUV는 국소 매개변수 영상에서 구한 평균 SUV와 $r=0.93$ 의 관계를, 분할/편평화 감쇠보정 방법은 $r=0.91$ 의 양의 상관관계를 보였다. 최대 SUV는 측정 감쇠보정 방법은 $r=0.86$, 분할/편평화 감쇠보정 방법은 $r=0.83$ 의 상관관계를 보였다(Fig. 7).

고 찰

종양에서 악성종양의 진행도와 밀접한 관계가 있는 포도당 대사율을 이용하여 종양의 악성여부를 판단하고 전이 부위를 찾을 수 있다. 포도당 대사율을 평가하려면 F-18-FDG PET으로 절대 포도당 대사율을 측정한다. 직접 포도당 섭취율을 계산하려면 동력학적인 정량화(dynamic quantification) 방법을 써야 하며 촬영과 정량분석에 긴 시간이 필요하다. 따라서

포도당 섭취율 대신 F-18-FDG 섭취를 비동력학적으로 정량화하여 종양과 정상조직을 비교하는 SUV가 정량적 지표로 이용되었다. SUV는 산출하기 쉽고 포도당 대사율에 비해 정량적 데이터로서 손색이 없다.

국소영상에 나타난 병소의 SUV는 이미 널리 쓰이고 있지만 국소 영상 바깥에 있는 전이 병소의 SUV는 구할 수 없었다. 전신스캔을 이용하여 F-18-FDG 섭취의 SUV를 구하고 SUV를 전신 매개변수 영상으로 표현할 수 있게 하여 화면에 표시된 영상의 화소값이 전신 병소의 SUV를 나타내게 하면 진단에 유용할 것이다.

재구성된 단층상을 정량분석하여 SUV를 구하려면 반드시 감쇠를 보정하여야 한다. 국소영상에서는 투과스캔에 의한 데이터를 그대로 이용하여 감쇠를 보정한다. 전신스캔에서도 SUV를 계산하려면 투과스캔을 하여 얻은 감쇠지도를 이용하여야 한다. 그러나 전신 촬영을 할 때는 현실적으로 국소촬영에서처럼 긴 시간 동안 투과스캔을 할 수 없다.

베드당 투과스캔 시간을 짧게하여 얻은 투과영상으

로 재구성할 때 분할편평화 방법을 쓰면 감쇠영상의 질을 향상시킬 수 있다^{2,3}. 이 감쇠영상으로 전신 영상을 재구성하면 계수부족에 따른 영상의 질 저하를 거의 극복할 수 있었다. 전신 감쇠보정 영상에서도 국소영상에서처럼 SUV를 구할 수 있고 정확하다는 것이 입증되면 사용할 수 있다. 이 연구에서 우리는 분할 편평화 방법으로 전신영상을 재구성하여 분할 편평화 감쇠보정 방법에 의한 SUV 전신 매개변수 영상을 만들고 이 때 얻은 SUV 값을 국소영상에서 얻은 SUV값과 분할편평화하지 않고 측정하여 감쇠보정을 시행한 전신 SUV값과 비교하였다.

원통형 모형을 이용한 모형실험에서 국소스캔 영상이 전신스캔 영상들에 비해 균일한 화질을 보였다. 투과스캔 시간이 길수록 영상의 질이 우수함을 확인하였다. 전신스캔 영상에서는 분할/편평화 감쇠보정 방법이 측정 감쇠보정 방법에 비해 조금 더 균등하게 보였다. 원통형 모형의 전신 매개변수 영상에서는 SUV가 국소 매개변수 영상에서의 SUV에 비해 측정 감쇠보정 방법에 의한 영상에서는 상대적으로 조금 높고, 분할/편평화 감쇠보정 방법에서는 약간 낮았다.

SUV를 산출하는 기존 방법인 국소 매개변수 영상에 나타낸 SUV를 기준으로 하여 전신 매개변수 영상에서 표시된 SUV를 비교하였다. 분할/편평화 감쇠보정 방법에 의한 전신 매개변수 영상의 SUV가 국소 매개변수 영상의 SUV에 비해 조금 과소평가되었다. 국소와 전신스캔을 시행한 23명의 환자영상에서는 국소 매개변수 영상과 전신 매개변수 영상에서 얻은 SUV의 평균값과 최대값들이 비슷한 분포들을 보였다. 측정 감쇠보정 방법을 이용한 전신 매개변수 영상에서 얻은 SUV가 국소 매개변수 영상에서 얻은 SUV와 더 가까이 일치하였다.

SUV값은 F-18-FDG의 조직섭취율과 비례한다. 일부 종양에서 시간방사능곡선을 보면 F-18-FDG 주사 후 60분 후에 플라토에 도달하지 않고 시간이 갈수록 조직섭취율이 증가하는 경우가 있다⁵. 우리 연구에서 국소영상은 전신영상 촬영을 마치고 촬영하였다. 조직섭취율이 시간이 지나면 증가하는 병소는 국소영상의 SUV가 앞에 촬영한 전신영상의 값보다 클 것이다. Fig. 7에 나타낸 데이터 중에 국소영상의 SUV가 뚜렷이 컸던 예가 이런 예라 생각한다. 이 때는 우리가 가정한 대로 국소영상에서 얻은 SUV가 전신 영상에서

얻은 SUV의 정확성을 검증하는 기준이 될 수 없다.

생물학적 변이에 따라 SUV 값이 달라지는 변이의 크기에 비해 국소영상과 전신영상인가에 따라 또는 감쇠보정 방법의 차이에 따라 달라지는 변이는 10% 내외에 불과하여 상대적으로 크지 않았다. 이렇게 방법 선정에 따른 오차가 다른 요소에 대한 오차보다 상대적으로 크지 않으므로 임상 예에서는 분할편평화 방법으로 구한 SUV를 사용하여도 좋을 것이라고 생각한다. SUV를 구하기 위해 관심영역을 그릴 때 개입하는 부분용적 효과와 종양조직의 불균일성에 따른 변이⁶에 비하면 무시할 만한 차이이기 때문이다.

우리는 이 연구에서 국소나 전신의 SUV를 구하기 위해 조직의 F-18-FDG섭취량을 체중으로 정규화하였다. SUV를 체중으로 정규화하여 표현할 때는 체중이 무겁거나 가볍거나 체중에 대한 지방조직의 분획이 같다고 가정한다. 실제로 체중이 무거운 환자는 체지방의 분율이 높은게 보통이다. 체지방은 F-18-FDG섭취가 낮다. 따라서 똑같은 체중일 때 체지방의 분획이 큰 환자는 주사한 F-18-FDG가 종양병소에 더 많이 모여서 SUV가 과대평가된다. 체지방분획의 증가에 따른 분포체적($V_{dlean\ body\ mass\ of\ F-18-FDG}$)의 감소하여 농도가 증가하였는데 같은 체중으로 나누어 주었기 때문이다. 같은 환자에서 추적검사를 할 때 병이 심하여져서 수척해지고 몸무게가 감소하는 경우는 체지방분획이 빨리 줄어든다. 몸무게가 주는 것보다 체지방분획이 주는 정도가 크면 추적검사에서 계산한 SUV가 실제보다 과대평가된다. 그러나 체중이 무거운 환자가 체지방분획이 반드시 큰 것은 아니다. 체구가 큰 환자는 키에 대한 (또는 체표면적에 대한) 체중의 변이가 크고 따라서 체지방 분획의 변이가 크다⁷. 그중 체지방 분획이 큰 체중이 무거운 환자에서만 과대평가 효과가 나타난다. 즉 체중이 무거운 환자가 가벼운 환자보다 SUV가 항상 과대평가되는 것은 아니다.

같은 키에도 체중이 무거우면 체표면적이 크다는 사실을 이용하여 체표면적을 이용하여 정규화할 것이 제안된 바 있다⁸. 체중에 비해 체표면적으로 정규화한 SUV가 조금 작아졌다. 그러나 체중과 체표면적 중 어느 것이 체지방분획의 증가를 나누는 분모(denominator)로 적당한지는 알 수 없다. 이 보고⁸에서도 체지방분획과 지방을 제외한 신체분획(lean body mass)을 측정하여 F-18-FDG 분포의 차이를 직접 규명하

지는 않았기 때문이다. 특히 서양인과 체형이 다른 우리나라 사람에서 체중의 증가에 따른 과대평가가 심각한지, 체중과 체표면적 사이의 상관 관계가 어떠한지 조사할 필요가 있다.

이 연구에서 우리는 전신스캔을 할 때 2분 동안 투과스캔을 시행하여 14분이내로 촬영시간만 조금 연장하면 SUV 매개변수 영상을 쉽게 구성할 수 있었음을 보였다. 전신스캔으로 전신병소를 쉽게 찾을 수 있을 뿐 아니라 SUV를 정량화할 수도 있었으며 이렇게 구한 SUV는 국소 매개변수 영상에서 구한 SUV와 크게 차이나지 않았다. 병소의 특징에 따라 섭취율이 서로 다른 것을 정규화할 때 생긴 오차에 비하면 감쇠보정 방법의 차이나 국소스캔인가 전신스캔인가에 따라 생기는 오차는 발생하지 않았다. 따라서 우리는 국소스캔에서 측정된 SUV와 우리가 제안한 전신 SUV 매개변수 영상에 표시한 SUV를 서로 바꾸어 사용하여도 좋다고 생각한다. 우리가 제안한 전신 SUV 매개변수 영상으로 국소스캔의 시야 바깥에 있는 병소를 찾고 SUV를 구할 수 있을 것이라 생각한다.

요 약

F-18-FDG 전신 PET을 촬영하여 분할/편평화 방법으로 감쇠보정한 전신 영상을 만들었으며 이어 SUV 매개변수 영상을 구성하여, 측정된 것을 그대로 사용한 방법과 분할/편평화 후에 감쇠보정하는 방법에 따라 SUV 추정 성능이 달라지는지 보았다. 모형실험의 결과 SUV 계산식이 적절함을 확인하였고 측정 감쇠보정 방법에 비해 분할/편평화 감쇠보정 방법을 이용하여 만든 영상이 화질이 우수하고, 구한 SUV 값은 국소스캔에 의한 SUV에 비해 측정 감쇠보정 방법은 SUV가 조금 높게, 분할/편평화 감쇠보정 방법은 조금 낮음을 알았다. 환자를 대상으로 적용한 결과 분할/편평화 방법으로 감쇠보정한 전신 영상의 화질은 우수하여 판독에 적합하였다. 환자 국소 매개변수 영상과 전신 매개변수 영상에서 병소부위의 SUV는 감쇠보정에 따라 작은 차이가 있었다. 23명의 환자에서 전신 SUV는 분할/편평화 감쇠보정 방법을 사용한 경우 국소스캔에서 얻은 SUV보다 조금 낮았다. 전신 SUV를 측정된 것을 그대로 사용하여 얻으면 국소스캔에서 얻은 SUV보다 조금 덜 낮았다. SUV를 측정

할 때 개입하는 병변의 특성이 뚜렷한 차이를 보이는 것을 고려할 때 우리가 발견한 방법간 SUV값의 차이는 상대적으로 작아 분할/편평화 후 감쇠보정 방법을 이용한 전신 SUV 매개변수 영상에서 얻은 SUV를 국소스캔에서 측정된 SUV와 서로 바꾸어 사용하여도 좋다고 생각한다.

감사의 글

이 연구의 분할/편평화 후 감쇠보정 방법은 St. Louis Washington University Mallinckrodt Institute of Radiology의 Department of Radiation Science의 연구원이었던 Ming Xu의 소프트웨어 알고리즘을 이용하였다. 어렵게 만든 소프트웨어를 세어워 처럼 쓰게 해주고 도와 준 Mr. Xu에게 감사드린다.

REFERENCES

- 1) Lowe JM, DeLong DM, Patz EF, Coleman E: *Semiquantitative and visual analysis of F-18-FDG-PET images in pulmonary abnormalities.* *J Nucl Med* 1994;35:1771-1776
- 2) Xu EZ, Mullani NA, Gould KL, Anderson WL: *A segmented attenuation correction for PET.* *J Nucl Med* 1991;32:161-165
- 3) Xu M, Culter PD: *Evaluation of adaptive PET whole-body segmented attenuation correction.* *J Nucl Med(abstract)* 1995;104
- 4) Hamberg LM, Hunter GJ, Alpert NM, Choi NC, Babich JW, Fischman AW: *The dose uptake ratio as an index of glucose metabolism: Useful parameter or oversimplification?* *J Nucl Med* 1994;35:1308-1312
- 5) Lowe VJ, DeLong DM, Hoffman JM, Coleman RE: *Optimum scanning protocol for FDG-PET evaluation of pulmonary malignancy.* *J Nucl Med* 1995;36:883-887
- 6) Keyes JW Jr: *SUV: Standard uptake or Silly useless value?* *J Nucl Med* 1995;36:1836-1839
- 7) 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* 1993;189:847-850
- 8) Kim CK, Gupta NC, Chandramouli B, Alavi A: *Standardized uptake values of F-18-FDG: Body surface area correction is preferable to body weight correction.* *J Nucl Med* 1994;35:164-167