

# PET/CT 검사에서 췌장암 판별을 위한 SUV<sub>m</sub> 경계값 연구

## Study of SUV<sub>m</sub> Cut-off Value for the Distinction of Pancreatic Cancer In PET/CT Exam

장보석\*, 김재호\*\*, 류귀쉬\*\*, 장은성\*\*\*

부산대학교 영상정보공학과\*, 부산대학교 전자공학과\*\*, 고신대학병원 종양학과\*\*\*

Boseok Chang(boseok7@daum.net)\*, Jae Ho Kim(jhkim@pusan.ac.kr)\*\*,  
Guoxu Liu(mam943@daum.net)\*\*, Eun Sung Jang(silver9661@naver.com)\*\*\*

### 요약

본 연구는 PET/CT 장비로 <sup>18</sup>F--FDG 방사성 의약품 주입 후 60분에서 검출된 췌장질환자 60명의 SUV<sub>m</sub> 데이터 분포를 정규분포 화 시키는 가설을 설정하여 PET/CT 이중시간 검사에서 지연 검사 시행을 결정할 수 있는 기준으로 제시하였다. 비정규분포를 나타내는 SUV<sub>m</sub> 데이터를 BOX-COX 변환과 Johnson 변환을 통해 정규분포 화 하였다. 정규 분포 95% 신뢰구간 하단에서 지연검사를 결정할 수 있는 경계값 SUV<sub>m</sub> 2.52를 제시하였다. 통계적 검증을 통해 제안된 경계값은 췌장암 구별을 위한 지연시간 검사에서 ( 120분, 180분)두 실험군 모두 적용할 수 있는 유의한 상관관계를 보였으며, 통계적으로 유의하다 ( $p < 0.05$ ). C-Value는 췌장암 군과 췌장염 군을 감별에서는 췌장암 판별에 통계적으로 유의하다 ( $p < 0.01$ ). C-Value graph를 이용해서 지연시간 120분 검사가 지연시간 180분 검사보다 유용성이 있음을 확인하였다. 경계값 SUV<sub>m</sub> 2.52를 기준으로 이중시간 검사를 결정했을 때, 현재 대다수의 핵의학과 개설 병원에서 시행하고 있는 단일 시간 PET/CT 검사보다, 췌장암 조기 발견과 감별에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 팻시티 검사 | 경계값 | 췌장암 |

### Abstract

In this study, when diagnosis pancreatic cancer by dual time point PET/CT, we propose SUV<sub>m</sub> 2.52 as the threshold value for performing the dual time point PET/CT exam. The hypothesis of normal distribution was adopted through data conversion of 60 pancreatic diseases. The proposed SUV<sub>m</sub>2.52 boundary value showed a significance level that could be applied to both 120 and 180 minutes of delay time scan for pancreatic cancer determination ( $p < 0.05$ ). C-value variation shows that delay time 2 hour test is more useful than delay time 3 hour test. When the SUV<sub>m</sub> 2.52 is set to the boundary value and the double-time point PET/CT exam is performed, the probability of distinguishing cancer from inflammation in the delayed image is 95%. When the delayed test is performed with the proposed boundary value SUV<sub>m</sub> 2.52, Compared with general PET / CT scans, it is thought that it may be helpful to distinguish pancreatic cancer.

■ keyword : | PET/CT | SUV<sub>m</sub> | Pancreatic Cancer | Cut-off Value |

\* 본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

접수일자 : 2017년 06월 01일

심사완료일 : 2017년 07월 05일

수정일자 : 2017년 06월 23일

교신저자 : 김재호, e-mail : jhkim@pusan.ac.kr

## I. 서론

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT는 인체의 생물학적 주요 구성 성분과 유사한 포도당 유사체(Fluoro-2-Deoxy-D-Glucose, FDG)를 양전자 방출 방사성 동위원소( $^{18}\text{F}$ )와 화학적 결합한 방사성 표지화합물( $^{18}\text{F}$ -FDG)을 인체에 투여하여 생리적 대사 과정에 따른 FDG 섭취 정도를 영상화함으로써 종양의 진단 및 치료 후 반응 평가 등에 다양하게 이용되고 있다[1][2]. 암세포는  $^{18}\text{F}$ -FDG 포도당 대사율이 정상 세포보다 약 4배~6배 정도 증가하는 것으로 알려져 있다[2-4]. 포도당 유사물질인 FDG에 감마선을 방출하는 방사성핵종 $^{18}\text{F}$ 을 합성해서 만든 방사성의약품  $^{18}\text{F}$ -FDG를 인체에 주사하면 포도당 대사율이 높은 암세포에 FDG가 집중하면서, 감마선 방출 방사성 핵종인  $^{18}\text{F}$ 도 함께 집중되므로 감마선 신호를 방출하여 암의 위치와 크기 정도를  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취계수인 SUV 수치로 나타낸다. 그러나 생리적 대사 특성에 따른 FDG의 섭취는 암세포만 선택적으로 증가되는 것이 아니라 염증성 질환(inflammatory diseases)에도 FDG 섭취 증가를 보이기 때문에 암의 진단을 평가하는데 구분이 필요하다[7].  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 검사에서 악성 종양과 염증성 양성 질환을 감별하기 위한 다양한 연구들이 보고되었다. 다양한 정상 장기들에 대한  $^{18}\text{F}$ -FDG 주입 60분에서 최대 표준화 섭취 계수(maximum standard uptake value, 이하 SUV<sub>m</sub>) 기준을 설정 하였다[5][6]. 악성 종양의 병기(stage)와 병리학적 구분에 따른 SUV<sub>m</sub>값을 표준화하려는 노력이 있었으며 악성 종양과 염증성 양성질환의 감별을 위하여 이중 시간 영상(dual-time point imaging)을 이용한 검사 방법이 제안되었다[8-12]. 그럼에도 불구하고 악성 종양과 양성 질환에 대한 정확한 감별 진단을 위하여 영상 의학적 추적 검사나 병리·조직학적인 임상 검사가 필요할 수 있으며 이중 시간 영상 검사의 적용 여부를 판단할 수 있는 SUV<sub>m</sub> 기준 설정이나 명확한 임상적 가이드라인이 정립되지 않아 의료기관마다 보수적으로 다르게 적용되고 있다. 또한, 이중 시간 영상 검사에 따른 환자 또는 주변인에 대한 잠재적 방사선 피폭을 가중시킬 수 있기 때문에 사회적 문제점으로 대두되고 있

다. 따라서 단순히 판독자의 육안적 판단에 근거한 근사적 접근법이나 경험에 의한 관행적 접근법에서 벗어나 PET-CT 검사에서 악성 종양 과 염증성, 양성 질환을 보다 명확하게 감별할 수 있는 과학적 접근법이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 PET/CT 장비로 이중 시간 검사(dual time point PET/CT scan) 시행을 결정하기 위한 통계적 기준을 제시하고자 한다. SUV<sub>m</sub>의 경계값으로 췌장질환자 60명의 데이터 변환을 통한 정규분포 화 시키는 가설을 설정하였다[13-16]. 시간에 따른 SUV 수치의 변동률은 SPSS를 이용한 통계적 분석을 통해 SUV<sub>m</sub> 경계값 설정에 대한 근거를 제시하였다. 제안된 SUV<sub>m</sub> 경계값은 이중 시간 검사를 결정하는 기준으로 제시하였다. 이중 시간 검사에서  $^{18}\text{F}$ -FDG 주입 후 시간의 경과에 따른 SUV 변동률(SUV change rate with time after injection, C-Value)을 추이 분석하여 악성종양과 염증성 양성 질환을 감별하기 위한 유용한 지연 시간을 임상적으로 제시하고 통계적 유의수준으로 분석하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 2008년 01월부터 2015년 12월 사이에 PET/CT를 정상 운영·가동하고 있는 핵의학과 전문병원인 P 병원 및 Y병원 핵의학과에서 췌장 질환이 의심되어 최초  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 이중 시간 영상 검사를 시행 받은 환자 중 임상 조건 및 영상 의학적 또는 생화학적 검사 등을 통해 췌장암(pancreatic cancer) 환자 40명과 췌장염(pancreatitis) 환자 20명, 확진된 환자 총 60명을 대상으로 하였다. P 병원은 지연검사(Delay Scan)는 FDG 주입 후 180분에 시행하였으며, Y 병원은 120분에 시행하였다. 본 연구 자료는 의료 영상 저장 전송시스템(Picture Archiving and Communication System, PACS)을 검토하여 후향적으로 분석되었다. 또한, 본 연구의 신뢰성 향상을 목적으로 조직 및 기관에 따른 비특이적 FDG 섭취 특성을 고려하여 단일 췌장 질환을 대상으로 한정하였으며 췌장의 인접 장기로

침범된 췌장 질환은 대상에서 제외되었다. 인체 내 주사하는 방사성 의약품  $^{18}\text{F}$ -FDG로 인한 과도한 방사선 피폭을 방지하기 위해 대한 핵의학 협회에서 권고하는 성인 권장량인 몸무게 1kg당 0.15mCi (5.55MBq/kg)를 정맥 주입하고, 60분 경과 후 PET/CT 스캐너 (Discovery PET/CT scanner, GE Health care Medical System, USA)를 이용하여 두경부에서 대퇴부까지 영상(emission image)을 획득하였다. 초기 영상과 지연 영상에서 정상 조직보다  $^{18}\text{F}$ -FDG 섭취 증가를 보이는 해부학적으로 동일한 영역(hot spot)에 일정한 크기의 관심 영역(region of interest, ROI)을 설정하여 SUV 값을 측정하였다. 본 연구에서 포도당 대사율에 대한 반정량적(semi quantitative) 표준 지표로 사용된 SUV 값은 어떤 조직의 단위 질량 당 방출되는 방사선량을 체중 1kg당 투여된 방사선량으로 나눈 값으로 정의되며 다음 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$SUV = \frac{\text{tissue weight (MBq/kg)}}{\text{Injected dose (MBq)/Patient weight (kg)}} \quad (1)$$

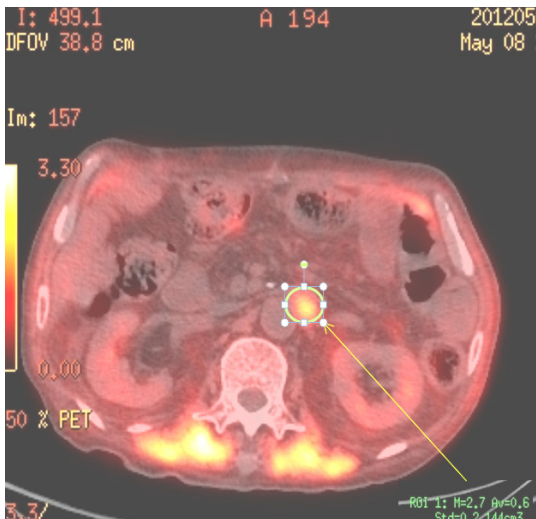


그림 1. Shows the region of interest (ROI) set on the increased FDG uptake areas appear in PET/CT image

[그림 1]에서 SUVm은 췌장내에 포도당이 균등하게 퍼져있다는 전제하에 판별하고자 하는 관심 영역이 주위조직보다 얼마나 높게 섭취하였는지를 측정하는 지수이다. 또한, 악성종양이나 염증성 질환에 FDG 포도당 대사율을 나타내는 반정량적 지표이다. FDG 포도당 대사는 같은 몸무게라도 체지방에 따라 보정이 요구되며, 당뇨 환자 등 혈당의 이상소견에 따라 섭취에 방해 받을 수 있는 한계가 있다[20-22]. 따라서 정확한 검사를 위해 전처치가 중요하다. 검사전 전처치로 8시간 금식, 체지방 보정. 검사전 혈당 수치 검사에서 당뇨병 등 이상 소견 환자는 포도당 대사에 의한 PET/CT 검사가 불가능하며 처방 후 혈당을 150mg/dl 이하로 떨어뜨린 후 PET/CT 검사를 시행 할 수 있다.

## 2. 지연 검사 결정을 위한 SUVm 경계값 분석

PET/CT 검사 60분 SCAN에서 SUVm의 췌장질환자 60명의 SUVm 값을 통해 췌장암과 췌장염의 구별을 위한 이중 시간 영상 검사 적용 여부를 판단할 수 있는 SUVm 값의 기준에 대한 통계적 분석 제시하였다.

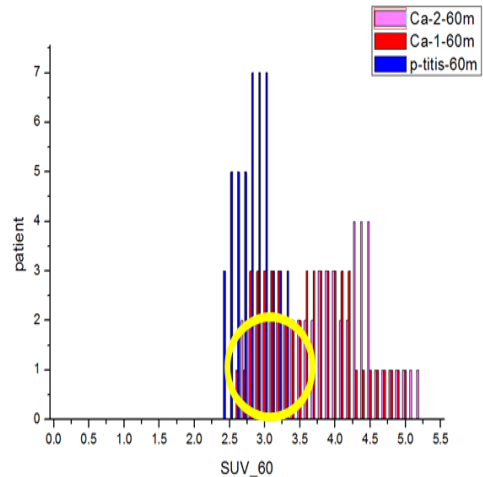


그림 2. SUVm graph at 60 min in both groups of pancreatic cancer and pancreatitis

[그림 2]는 췌장질환자 60명의 SUVm 데이터 값이다. X축은 SUVm이고 Y축은 환자의 빈도수이다. 췌장염 환자군과 췌장암 환자군이 겹쳐지는 X축의 범위

SUVm 2.48 ~ 3.7이다. PET/CT 단일 시간 검사로는 60분 영상 획득에서 SUVm 수치만 보고 췌장암과 췌장염의 판별이 어려운 구간이다. 따라서 이 구간이 반드시 지연 검사가 요구된다. 이중 시간 영상 검사의 적용 여부를 판단할 수 있는 SUVm 값의 기준 설정으로 비정규분포를 가지는 환자의 데이터를 (Minitab, v17) 프로그램변환을 통한 정규분포 화 시키는 가설을 채택하여 95% 신뢰구간에서 통계 처리를 하였다[13-16]. 환자의 데이터가 층분치 않아 정규 분포를 따르지 않는 데이터를 BOX-COX 변환과 Johnson변환을 통해 정규분포를 따르는 확률밀도 함수를 95% 신뢰구간 ( $\mu - 2 \times \delta, \mu$ : 중앙값,  $\delta$ : 표준편차) 하단에서 SUVm 경계값을 예측하였다. 췌장질환자 60명의 60분 Scan에서 얻은 SUVm 값에 대한 환자의 빈도수를 배열해서 정리를 하면 근사적으로 직선에 가깝지만 데이터의 부족 등의 이유로 비정규 분포를 보이고 있다. 정규분포는 직선에 가까운 절대 근사를 하므로 60명의 데이터에서 췌장암과 췌장염 환자군, 두 대조군으로 추출하여 BOX-COX 변환을 통해  $\lambda$  변환으로 정규분포 화 할 수 있다 [13-16].

\* BOX-COX 변환

$$Y' = \frac{Y-1}{\lambda} \quad (Y \neq 0) \quad (2)$$

$$Y' = \ln Y \quad (Y = 0) \quad (3)$$

$$Y' = X^\lambda \quad (4)$$

$\lambda$ 의 최적값은 ( 통계프로그램 : Minitab, v17)에서 0.5를 유의 수준으로 95% 신뢰구간에서 계산하였다.

\* JOHNSON 변환

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{Z^2}{2}\right] \quad (5)$$

확률변수 Z, 확률밀도함수 F (Z) 일 때

$$Z = \gamma + n K i(x, \lambda, \epsilon), \quad i = 1, 2, 3$$

$$K_1 = \sinh^{-1}\left[\frac{x-\epsilon}{\lambda}\right]: unbounded \quad (6)$$

$$K_2 = \ln\left[\frac{x-\epsilon}{\lambda+\epsilon-x}\right]: bounded \quad (7)$$

$$K_3 = \ln\left[\frac{x-\epsilon}{\lambda}\right]: lognormal \quad (8)$$

측정치 x 가  $n, r, \lambda, \epsilon$  모수선택을 통해 X' 로 변형시켜 정규분포 화하였다.  $\epsilon, r$ 은 위치 모수 이고,  $\lambda, n$ 은 척도 모수이다.

### 3. SUV 변동률(C-SUVm) 및 통계 분석

본 연구에서는 60명의 SUVm 수치를 통계 P/G 을 사용하여 정규분포 화 하였다. 95% 신뢰 구간에서 암과 염증을 구별할 수 있는 SUVm 경계값을 적용해서 지연 검사 시행을 결정 한다고 가정하였을 때, 120분 지연검사를 한 P 병원 환자군과 180분 지연 검사를 한 Y 병원 환자군의 C-Value 변동률을 분석해서, 통계적 유의 수준을 분석하였다. 또한, 췌장암 판별 인자와 상관관계 계수가 클수록 p-value가 작아져서 통계적 유의성이 있으므로 PET/CT 이중시간 검사에서 일차검사와 지연검사에서의 나온 SUV 수치와 암세포 판별의 척도인 C-Value와 상관관계 분석을 하였다.

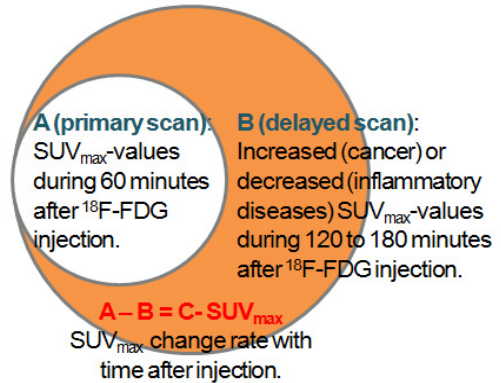


그림 3. Shows the derivation of equations for C-SUV that the change of glucose metabolic rate by lapse of times.

[그림 3]에서 보는 바와 같이 1시간 경과 후 획득한 초기 영상의 SUV<sub>m</sub>값(A 영역)을 SUV<sub>m</sub>primary, 보수적 관점에서 임상에서 적용되고 있는 120분 또는 180분 경

과 후 획득한 지연 영상의 SUV<sub>m</sub>값 (B 영역)을  $SUV_{m\_delayed}$ 라 할 때 해부학적으로 동일 부위에서 측정된 두 SUV<sub>m</sub>값의 차이를 초기 영상에서 획득한 SUV<sub>m</sub>값으로 나누면 시간의 경과에 따른 포도당 대사율의 변화인 C-SUV<sub>m</sub>를 아래식과 같이 유도되었다.

$$C-SUV_m = \frac{A_{area} - B_{area}}{A_{area}} \quad (9)$$

$$C-Value = \frac{SUV_{MAX_D} - SUV_{MAX_P}}{SUV_{MAX_P}} \times 100 \quad (10)$$

통계적 분석은 SPSS version 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 수행되었다. 유의 수준은 p 값이 0.05 이하인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

### III. 결과

#### 1. SUVm에 대한 임상적 가이드라인 제시

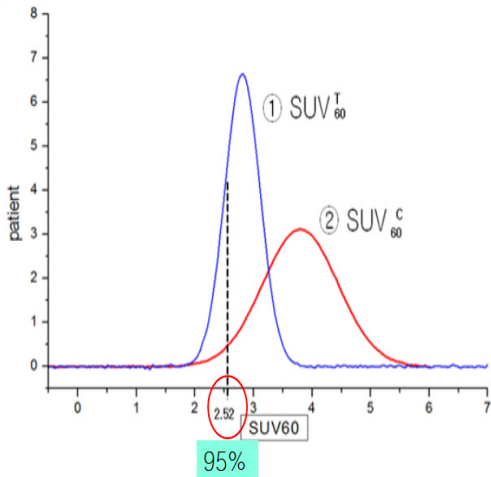


그림 4. Two groups of pancreatic cancer and pancreatitis Normal distribution comparison graph of SUVm

비정규분포를 정규분포로 변환해서 얻어진 60명의 췌장질환자 데이터를 ① 췌장암 환자군과 ② 췌장염 환자군으로 나누어서 두 그룹을 정규분포 화 하였고, 췌장암 환자군 정규분포 그래프의 95% 신뢰구간에서 계산된 경계값은 SUV<sub>m</sub> 2.52이다.

#### 2. SUVm 2.52 경계값에 대한 유용성 평가

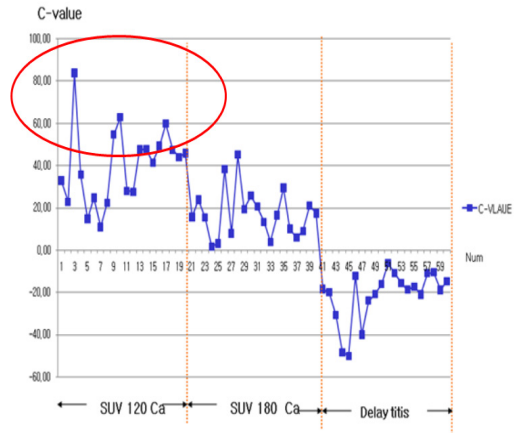


그림 5. Percent change of C-Value according to pancreatic cancer and pancreatitis delay Scan time

결정값 SUV 2.52를 기준으로 지연검사를 시행할 때 120분 검사를 한 P 병원과 180분 지연검사를 한 Y 병원의 통계적 유의수준은 SPSS 통계적 분석을 한 결과 지연시간 120분에서 ( $p < 0.05$ ), 지연시간 180분 ( $p < 0.05$ )으로 모두 유의하다. 일반적인  $^{18}F$ -FDG 주입 후 60분에 검사하는 일차 검사에서 SUV와 지연 검사에서 SUV는 시간에 따른 암세포 내 포도당 섭취량의 변화량을 나타내므로 췌장암 감별의 중요한 정보를 제공한다. C-Value는 췌장암군과 췌장염군 구별에서 통계적으로 유의하다( $p < 0.01$ ).

C-Value와 SUV의 상관관계는 일차 검사 상관 계수는 ( $r = 0.3271$ ) 지연 검사에서 상관계수는 ( $r = 0.7085$ )이다. 즉 상관관계 계수가 클수록 p-value 가 작아져서 상관관계수의 유의성이 있다.

그러므로 F-18-FDG 주입 후 60분 검사에서 췌장암 환자군 SUV<sub>m</sub> 정규분포 95% 하단 지점인 2.52를 기준

으로 지연검사를 시행할 때 지연검사서 췌장암 판별의 통계적 유의수준은 ( $p < 0.05$ )이다. 즉 ( $p < 0.05$ )의 의미는 가설에서 예측한 값이 실제 측정값과 비교해 볼 때 95% 신뢰성을 가지다. [그림 4]의 C-value 분석에서는 지연검사 120분이 180분보다 췌장암에 대해서 높은 변동률을 나타내었다. 따라서 경계값 SUVm 2.52를 기준으로 120분 지연 검사를 시행한다면 지연 영상에서 췌장암은 SUV 경계값 2.52 보다 높은 변동률이 예상되며 염증은 2.52 보다 감소한 수치를 나타낼 것이다. 이러한 예측된 결과가 나타날 확률이 95% 이므로 제안한 경계값이 췌장암 조기 판별에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

#### IV. 고찰

PET/CT 검사로 췌장암 진단의 정확도를 높이는 방안으로 선행 연구에서 이중시간 검사를 시행하고 있는 병원은 있지만, 이중시간 검사를 결정할 수 있는 SUVm 경계값에 대한 통계적 연구가 요구되어 졌다. 국내의 선행 연구에서 Delbeke 등은 췌장암과 염증 병변을 구별하기 위한 SUVm 경계값으로 2.0을 제시하였다[17]. 그러나 이 방법에는 진단의 정확도는 높일 수 있지만, 대부분의 췌장질환자에서 중복검사를 요구하므로 과도한 피폭에 대한 문제가 있다. [그림 4]에서 SUVm 2.52 이하 영역에서는 췌장암이 아닐 확률이 95%이므로 경계값을 2.0으로 낮게 설정할 때, 지연 검사로 인한 중복 피폭을 받게 된다.

따라서 췌장암 환자군의 정규분포 95% 하단 영역인 SUVm 2.52 이하의 영역을 적분하면 SUVm 경계값을 2.52로 결정했을 때 결정값 2.0보다 추가 검사로 인한 받을 수 있는 피폭의 범위를 23% 줄일 수 있다. Berberat 등은 췌장암 판별을 위한 경계값으로 SUVm 3.0을 제시하였다[18]. 그러나 본 연구를 통해 SUVm 3.0 이하에서도 췌장암 환자가 발생할 수 있으므로 중복 검사로 인한 예상 피폭량은 줄일 수 있으나 정확도는 떨어진다. 본 연구에서 5명이 SUVm 3.0 이하였으나 지연검사를 통해 췌장암으로 확인되었다. 경계값을 3.0으로 시행했을 때 췌장암으로 판명될 경우는 35명, 경

계값을 2.5로 결정하고 지연 검사를 시행했을 때 췌장암으로 판명될 경우가 40명이다. 따라서 2.5를 경계값으로 결정하고 지연 검사를 시행했을 때 3.0 보다 상대적으로 12.5 % 정확도가 향상되었다.

[그림 5]에서 암세포 내 시간의 지연에 따른 포도당 대사율의 변화를 나타내는 C-Value의 변동 그래프가 지연 시간 120분이 지연시간 180분보다 시간에 따른 변동률이 높게 평가되었다. 이것은 췌장암 판별을 위한 120분 지연 영상이 180분 지연 영상보다 유용함을 나타낸다.

국내 연구에서도 Ryu는 췌장암 구별을 위한 경계값 SUVm 3.0을 제시하였다[9]. 그러나 연구 대상 환자의 수가 14명이고 데이터 부족 등으로 통계적 신뢰도가 떨어진다. 따라서 본 연구는 경계값 설정에 중점을 두고 통계적 신뢰도를 나타낼 수 있는 방안으로 60명의 췌장질환자 실험을 통해 경계값을 2.52로 제시하였다. 통계적 근거를 제시하기 위해 95% 신뢰구간의 형성하여 실험하였다. 실험대상 환자의 분포가 60명밖에 안 되어서 그래프 상 비정규분포를 나타내지만, 통계 P/G 변환을 통해 정규분포 가설을 설정하여 95% 신뢰구간에서 췌장암을 구별할 수 있는 경계값을 제시하였다.

본 연구에서 제안한 악성 종양과 양성 변병을 구별하기 위한 경계값을 구하는 방법은 췌장암뿐만 아니라 상복부 및 기타암에도 적용이 가능할 것으로 사료되며, 전향적 연구를 통해 후속 연구로 증명하고자 한다. 또한 정확도 높은 검사를 위해 장기별 악성 종양의 최적의 지연 시간 검사에 대한 연구가 요구된다. 췌장암 판별을 위한 지연 시간에 대하여 Ryu는 2시간 지연영상의 유용성을 보고하였다[9]. Demura등은 폐암 진단 시 3시간 영상 진단의 유용성을 보고하였으며[19], Kubota 등은 폐암과 악성 림프종 구별 진단을 위해서는 2시간 영상의 유용성을 제시하였다 [20]. 이러한 지연시간에 대한 입장 차이는 장기별 암의 특징 및 구분하고자 하는 양성 질환의 포도당 대사율에 따라 최적화되는 지연 시간이 각각 다르기 때문이다. 따라서 본 연구에서 제안한 경계값 설정의 기준을 적용하여 장기별 악성 종양과 양성 질환과 구별을 할 수 있는 최적화된 지연시간에 대한 후속적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결론

현재 췌담도확화등 의학계에서 난제로 여겨지는 췌장암 조기 발견을 위한 검사방법으로 PET/CT로 이중 시간 영상 검사를 시행을 위한 SUVm 경계값을 제안하였다.

- 1) SUV 경계값에 대한 신뢰성 있는 통계적 경계값으로 SUVm 2.52를 제시하였다.
- 2) 제안된 경계값은 췌장암 구별을 위한 지연시간 검사에서 120분, 180분 모두 적용할 수 있는 통계적 유의 수준을 나타내었다(  $p < 0.05$ ).
- 3) [그림 4]에서 제안된 경계값 SUVm 2.52 이하의 면적을 적분하면 Delbeke 등이 주장 한 SUVm 경계값 2.0보다 피폭선량을 23% 경감시키는 효과가 있다[17].
- 4) 본 연구에서 지연검사로 확인된 췌장암 환자 중 SUVm 3.0 이하에서 발견된 췌장암 환자가 5명이다. 이 수치는 Berberat등이 제시한 경계값 SUVm 3.0 보다 SUVm 2.52를 경계값으로 사용했을 때 정확도에서 12.5% 향상 시킬 수 있다[18].
- 5) SUVm 2.52를 경계값으로 설정하고 이중시간 검사를 시행했을 때, 지연영상에서 췌장암과 염증성 질환을 구분할 수 있는 확률이 95% 수준이다.
- 6) 제안한 경계값 SUVm 2.52는 단일 PET/CT 검사 방법 보다, 120분 뒤 지연 검사를 함으로써 불필요한 중복 검사로 인한 의료 피폭을 방지할 수 있고, 췌장암 조기 진단 및 정확도를 높이는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

[1] K. Kubota, "From tumor biology to clinical Pet: a review of positron emission tomography (PET) in oncology," J. of Ann. Nucl. Med., Vol.15, No.6, pp.471-486, 2001.

[2] M. S. Woo, C. I. Baek, J. E. Yoo, and J. W. Song, "Clinical Correlation between the

Autoimmune Thyroid Disease for the Thyroid Autoimmune Antibodies and the Maximum Standardized Uptake Value: Base on the Hashimoto's Thyroiditis and the Graves' Disease," J. of Korean Soc. Radiol., Vol.8, No.5, pp.240-248, 2014.

- [3] O. Warburg, F. Wind, and E. Negelein, "The metabolism of tumors in the body," J. of Gen. Physiol., Vol.8, No.6, pp.519-530, 1997.
- [4] M. S. Woo, C. I. Baek, J. E. Yoo, J. W. Song, I. C. Im, J. C. Son, S. D. Cho, and J. S. Lee, "Clinical Correlation between the Autoimmune Thyroid Disease for the Thyroid Autoimmune Antibodies and the Maximum Standardized Uptake Value: Base on the Hashimoto's Thyroiditis and the Graves' Disease," J. of Korean Soc. Radiol., Vol.8, No.5, pp.240-248, 2014.
- [5] S. Zincirkeser, E. Sahin, M. Halac, and S. Sager, "Standardized uptake values of normal organs on 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography and computed tomography imaging," J. of Int. Med. Res., Vol.35, No.2, pp.231-236, 2007.
- [6] K. A. Büsing, S. O. Schönberg, J. Brade, and K. Wasser, "Impact of blood glucose, diabetes, insulin, and obesity on standardized uptake values in tumors and healthy organs on 18F-FDG PET/CT," J. of Nucl. Med. Biol., Vol.40, No.2, pp.206-213, 2013.
- [7] R. Kubota, S. Yamada, K. Kubota, K. Ishiwata, N. Tamahashi, and T. Ido, "Intratumoral distribution of fluorine-18- fluorodeoxyglucose in vivo: high accumulation in macrophages and granulation tissues studied by micro autoradiography," J. of Nucl. Med, Vol.33, No.11, pp.1972-1980, 1992.
- [8] S. Yamada, K. Kubota, R. Kubota, T. Ido, and N.

- Tamahashi, "High accumulation of fluorine-18-fluorodeoxy-glucose in turpentine-induced inflammatory tissue," *J. of Nucl. Med.*, Vol.36, No.7, pp.1301-1306, 1995.
- [9] G. H. Ryu, *Utility of 18F-FDG PET/CT and delayed scan for differentiation of pancreatitis from pancreatic cancer*, Soon-chun-hyang University, Master's thesis, 2010.
- [10] L. W. Matthiessen, H. H. Johannesen, K. Skougaard, J. Gehl, and H. W. Hendel, "Dual time point imaging fluorine-18 flouorodeoxy glucose positron emission tomography for evaluation of large loco-regional recurrences of breast cancer treated with electrochemo therapy," *J. of Radiol. Oncol.*, Vol.47, No.4, pp.358-365, 2013.
- [11] S. Houshmand, A. Salavati, E. A. Segtnan, P. Grupe, and P. F. Høilund-Carlson, "Dual-time point Imaging and Delayed-time-point Fluoro deoxyglucose PET/Computed Tomography Imaging in Various Clinical Settings," *J. of PET. Clin.*, Vol.11, No.1, pp.65-84, 2016.
- [12] H. G. Lee, M. S. Han, Y. K. Kim, S. Y. Seo, M. C. Jeon, T. H. Kim, and S. J. Hong, "Evaluate Utility of Thyroid Cancer Discrimination by 18F-FDG PET/CT Delay Scan Images," *J. of Kor. Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.14, No.6, pp.2958-2965, 2013.
- [13] 이희창, 성기원, "Box-Cox 변환에 의한 I-D-F 곡선의 평활화," *한국수자원학회논문지*, 제36권, 제2호, pp.65-84, 2003.
- [14] 황수진, *Box-Cox 변환된 선형모형의 베이저안 검정 기준들의 관한 연구*, 동국대학교, 석사학위 논문, 2003.
- [15] Y. Yu, P. Zhang, W. Lin, W. Cui, and J. N. Fry, "Gaussianizing the non-Gaussian lensing convergence field: The performance of the Gaussianization," *Physical Review D*, Vol.84 No.2, 2011.
- [16] G. Chen and R. Lockhart, "Box-Cox transformed linear models: A parameter based asymptotic approach," *The Canadian J. of statistics*, Vol.25, No.4, 1997.
- [17] D. Delbeke, D. M. Rose, W. C. Chapman, C. W. Pinson, and J. K. Wright, "Optimal interpretation of FDG PET in the diagnosis, staging and management of pancreatic carcinoma," *J. of Nucl Med.*, Vol.40, No.4, pp.1784-1791, 1999.
- [18] P. Berberat, H. Friess, M. Kashiwagi, and H. G. Beger, "Diagnosis and staging of pancreatic cancer by positron emissiotomography," *World J. of Surg.*, Vol.23, pp.882-887, 1999.
- [19] Y. Demura, T. Tsuchida, T. Ishizaki, S. Mizuno, Y. Totani, S. Ameshima, I. Miyamori, M. Sasaki, and Y. Yonekura, "18F-FDG accumulation with PET for differentiation between benign and malignant lesions in the thorax," *J. of Nucl Med*, Vol.44, No.2, pp.540-548, 2003.
- [20] K. Kubota, M. Itoh, K. Ozaki, S. Ono, M. Tashiro, K. Yamaguchi, T. Akaizawa, K. Yamada, and H. Fukuda, "Advantage of delayed whole-body FDG-PET imaging for tumour detection," *J. of Eur Nucl Med*, Vol.28 No.6, pp.696-703, 2001.
- [21] J. Thie, "Understanding the Standardized Uptake Value, Its Methods, and Implication of usage," *J of Nucl Med*, No.4, pp.1431-1434, 2004.
- [22] 김기진, 김종일 배석환, "물질의 종류에 따른 표준섭취계수의 변화에 관한 연구," *한국산학기술학회논문지*, 제12권, 제8호, pp.3572-3578, 2011.



저 자 소 개

장 보 석(Boseok Chang)

정회원



- 2012년 8월 : 부산대학교 대학원 졸업(이학석사)
- 2017년 8월 : 부산대학교 대학원 졸업(공학박사)

<관심분야> : 보건통계, 방사선 의료영상, 보건 의료 콘텐츠

장 은 성(Eun Sung Jang)

정회원



- 2015년 2월 : 부산대학교 대학원 졸업(이학박사)
- 1996년 5월 ~ 현재 : 고신대학교병원 중앙학과

<관심분야> : 방사선 종양학, 방사선 의료영상, 보건 의료 콘텐츠

김 재 호(Jae Ho Kim)

정회원



- 1982년 2월 : 한국과학기술원 산업 전자공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자공학과 및 영상정보공학과 교수

<관심분야> : 영상통신, 영상처리, 방사선 의료영상, 보건의료 콘텐츠

류 귀 쉬(Guoxu Liu)

정회원



- 2014년 2월 : 싱가포르, 난양기술대학교 대학원 졸업(공학석사)
- 2016년 8월 : 부산대학교 대학원 (박사과정)

<관심분야> : 보건통계, 의료영상, 보건의료콘텐츠