

## PET/CT 영상에서의 치과재료에 의한 인공물에 관한 연구

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

반영각 · 박훈희 · 남궁혁 · 조석원 · 임한상 · 이창호

### Evaluation of Artifacts by Dental Metal Prostheses and Implants on PET/CT Images: Phantom and Clinical Studies

Young Kag Bahn, Hoon-Hee Park, Hyuk Nam-Koong, Suk Won Cho, Han Sang Lim and Chang Ho Lee

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

**Purpose:** The X-ray attenuation coefficient based on CT images is used for attenuation correction in PET/CT. The polychromatic X-ray beam can introduce beam-hardening artifact on CT images. The aims of the study were to evaluate the effect of dental metal prostheses in phantom and patients on apparent tracer activity measured with PET/CT when using CT attenuation correction. **Materials and Methods:** 40 normal patients (mean age  $54 \pm 12$ ) was scanned between Jan and Feb 2010. NEMA(National Electrical Manufactures Association) PET Phantom™ (NU2-1994) was filled with  $^{18}\text{F}$ -FDG injected into the water that insert implant and metal prostheses dental cast. Region of interest were drawn in non-artifact region, bright streak artifact region and dark streak artifact region on the same transaxial CT and PET slices. Patients and phantom with dental metal prostheses and dental implant were evaluated the change rate of CT Number and  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  in PET/CT. A paired *t*-test was performed to compare the ratio and the difference of the calculated values. **Results:** In patients with dental metal prostheses,  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  was reduced 19.64% ( $p < 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the brightstreak artifact region whereas was increased 90.1% ( $p > 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the dark streak artifact region. In phantom with dental metal prostheses,  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  was reduced 18.1% ( $p < 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the bright streak artifact region whereas was increased 18.0% ( $p > 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the dark streak artifact region. In patients with dental implant,  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  was increased 19.1% ( $p < 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the bright streak artifact region whereas was increased 96.62% ( $p > 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the dark streak artifact region. In phantom with dental implant,  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  was increased 14.4% ( $p < 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the bright streak artifact region whereas was increased 7.0% ( $p > 0.05$ ) in the non-streak artifact region than the dark streak artifact region. **Conclusion:** When CT is used for attenuation correction in patients with dental metal prostheses, 19.1% reduced  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  is anticipated in the dark streak artifact region on CT images. The dark streak artifacts of CT by dental metal prostheses may cause false negative finding in PET/CT. We recommend that the non-attenuation corrected PET images also be evaluated for clinical use. (Korean J Nucl Med Technol 2010;14(2):110-116)

**Key Words :** Dental metal prostheses, Dental implant, Streak artifact, PET/CT

## 서 론

최근 종양학에서 PET 영상은 PET 장비보다 PET/CT 장비의 개발로 빠르게 대체되고 있다. 그 원인은 기존 PET 장비의  $^{137}\text{Cs}$ 이나  $^{68}\text{Ge}$ 을 이용한 감쇄보정(attenuation correction)보다 PET/CT 검사에서 CT 기반의 감쇄보정은 기존의 감쇄보정방법보다 더 신속하게 검사가 진행되기 때문이다.<sup>1)</sup> 이러

• Received: September 1, 2010. Accepted: September 15, 2010.  
• Corresponding author: Young Kag Bahn  
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul, 120-752, Korea  
Tel: +82-2-2228-6065 Fax: +82-2-312-0578  
E-mail: Bahnyk@yuhs.ac

한 PET 영상장비의 발전으로 전신 PET 영상의 검사시간은  $^{137}\text{Cs}$ 이나  $^{68}\text{Ge}$ 을 이용한 감쇄보정을 하지 않고 전신 CT 스캔만으로 감쇄보정을 할 수 있게 되어 검사시간이 30-40% 감소되었고, 검사할 수 있는 환자 수가 기존의 PET에 비해 많이 늘어났다. 그리고 CT 영상을 획득함으로써 PET 영상과 CT 영상의 동 위상 정보를 제공하여 정확한 해부학적, 기능적 영상을 동시에 얻을 수 있다. 그래서 진단의 정확도가 기존의 PET보다 PET/CT가 91%에서 98%로 증가하였고, 치료의 방향, 암의 진행 정도, 암의 전이 여부를 정확히 확인할 수 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 CT 기반의 PET/CT 감쇄보정은 단점을 가지고 있다. PET/CT 검사에서는 CT 영상의 인공물로 인해 PET/CT 영상에 영향을 준다.<sup>2,3)</sup> PET은  $^{137}\text{Cs}$ 이나  $^{68}\text{Ge}$ 기반의 투과영상(transmission)을 이용하여 감쇄보정방법을 사용하는데, 평균 622 keV와 511 keV의 높은 감마선 에너지를 가지고 있어 511 keV의 소멸복사 감마선 방출영상(emission)을 보정하는데 적합하다. 하지만 CT 기반의 감쇄보정 영상은 140kVp의 낮은 X-ray 에너지로 영상으로 획득하여 PET 영상의 감쇄된 영상을 보정하는데, CT 영상은 CT X-ray의 특성상 원자번호가 높은 물질에서 선속 경화 인공물이 발생한다. 그 결과 PET/CT 영상에서 선속이 경화된 CT 영상이 감쇄보정에 이용되어 PET 영상에서도 영향을 미칠 수 있다. 이러한 현상은 인공 심장 박동기, 금속 치과 재료, 정형외과에서 쓰는 인공관절 등이 CT 영상에서 X-ray 선속 경화로 인해 인공물이 발생하고, 이것은 PET 영상에서 영향을 미치고 있다.<sup>4)</sup> 그래서 다수의 논문이나 가이드라인에서는 CT 영상에서의 선속 경화 현상을 언급하고 참고하도록 권고하고 있다.<sup>7-9)</sup> 특히, 복잡한 구조를 가지고 있는 구강 내에서의 금속 치과 재료는 PET/CT

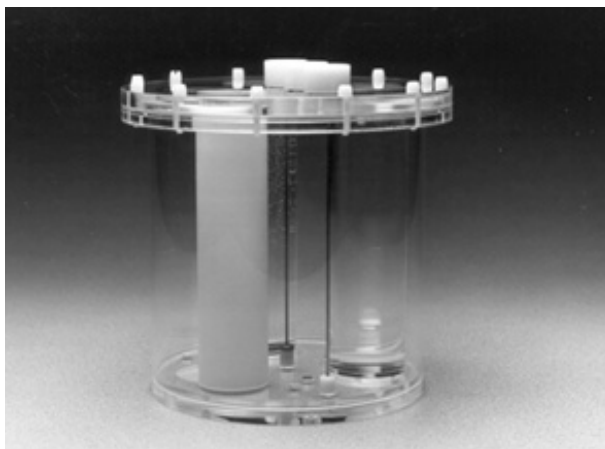


Fig. 1. NEMA PET Phantom™ (NU2-1994) was cylindrical phantom with air, teflon and source cylinder.

검사에서 인공물이 발생할 수 있고, 발병 가능성이 높은 두경부에서의 정확한 판독을 어렵게 한다.<sup>5)</sup> 그래서 본 연구는 치과재료에 의한 인공물이 PET/CT 영상에 미치는 영향에 대해 알아보려고 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험방법

#### 1) 팬텀실험 방법

NEMA (National Electrical Manufacturers Association) PET Phantom™ (NU2-1994)을 사용하여 치아모형을 삽입하여 진행했다(Fig. 1). 치아모형은 금속 임플란트와 금속 보철이 매식된 것을 각각 팬텀 내에 넣고 고정된 후 물을 가득 채우고  $^{18}\text{F}$ -FDG 3.7 kBq/g을 주입했다(Fig. 2). 그리고 60분 후에 CT 검사를 진행한 후 2분 동안 PET 방출영상을 1 bed 획득했다.

#### 2) 환자실험 방법

2009년 1월부터 2009년 11월까지 본원에서 PET/CT 검사를 시행한 환자 중 구강 내 질환이 없는 환자 200명(연령범위: 평균  $38 \pm 7.89$ 세)을 후향적 조사를 하였다. 환자들은 검사 전 최소 8시간 이상 금식하였고, 검사직전 혈당은 모두 6.69 mmol/L (120 mg/dL) 이하였다. 방사성의약품 주사 전 약 15분 동안 안정을 취하며 약 500~1,000 mL의 물을 마시도록 한 후, 약 5.6 MBq/kg (0.11 mCi/kg)의  $^{18}\text{F}$ -FDG를 정맥 주사하였다. 주사 후에는 근육의 비정상적인 섭취 증가를 막기 위해 움직임을 제재하였으며, 60분 간 누운 자세로 안정을 취하도록 하였다. 검사 전 배뇨하여 방광을 비우도록 하였고, 바로 누운 자세에서 뇌 기저부에서 대퇴부의 중간 지점까지 검사를 했다. 조영제를 사용하지 않은 CT (Non-contrast CT)를 약 1분 간 촬영한 후 bed 당 2분씩 PET 방출영상을 5~7 bed 획득했다.

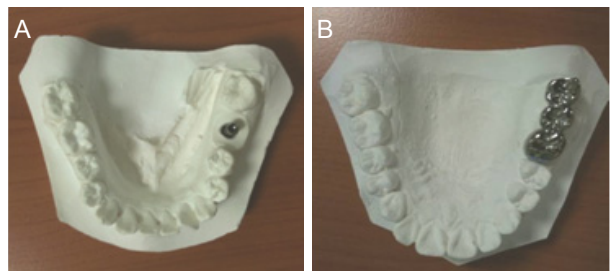


Fig. 2. Dental plaster cast with (A) implant and (B) prostheses was inserted that cylindrical phantom was filled with 0.35 mCi of  $^{18}\text{F}$ -FDG was injected water.

## 2. 영상획득방법

장비는 PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA) 스캐너를 사용하여 3D (3 Dimensional) 방법으로 촬영하였으며, 크리스탈은 BGO를 사용했다. 고유 분해능 (intrinsic resolution)은 4.29 mm의 반치폭(Full Width at Half Maximum; FWHM)을 사용했고, DFOV(Display Field Of View)는 500 mm이었다. 3D 재구성 방법은 iterative method 를 사용했으며 subset 16회, iteration 2회 실시했다. CT는 16 slice로 구성되고, 120 kVp, 60 mA 조건으로 피치는 1.375, 테이블 속도는 27.5 mm/R, slice thickness 는 2.5 mm로 영상을 구현했다.

## 3. 영상분석방법

치아에 치과 보철을 매식한 환자 20명과 매식하지 않은 환자 20명을 대상으로 같은 단층상의 PET/CT 영상에서 인공물의 영향이 없는 부분(non-streak artifact region), 어둡게 인공물이 나타난 부분(dark streak artifact region), 밝게 인공물이 나타난 부분(bright streak artifact region), 이렇게 3군데의 지름 16 mm의 관심영역을 설정하여 CT 영상의 CT 값 (CT number)과 PET 영상의 표준섭취계수(Standard Uptake Value, SUV) 변화를 5회 측정하여 평균을 분석했다(Fig. 3). 팬텀 실험

험도 동일하게 진행되었다. 통계분석은 대응표본 *t*-test를 이용했다.

## 결 과

### 1. 임상실험

치아 보철을 매식한 환자의 CT에서 CT 값이 인공물의 영향이 없는 부분은 최고 65.20±11.00, 평균 46.20±10.00, 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고 -333.50±135.00, 평균 -463.07±211.00이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고 635.00±221.00, 평균 515.57±207.00이었다. 인공물의 영향이 없는 부분은 어둡게 인공물이 나타난 부분에 비해 약 1102.01% 감소되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 1866.77% 증가하였다. PET 검사에서 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분은 최고 0.79±0.15, 평균 0.8±0.15, 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고 0.76±0.43, 평균 0.76±0.43 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고 1.54±0.55, 평균 1.52±0.56이었다. 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어둡게 인공물이 나타난 부분은 약 19.64% (*p*<0.05) 감소되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 90.17% (*p*>0.05) 증가했다(Fig. 4).

치아 임플란트를 매식한 환자의 CT 영상에서 CT 값이 인공물의 영향이 없는 부분은 최고 62.25±13, 평균 44.83±13,

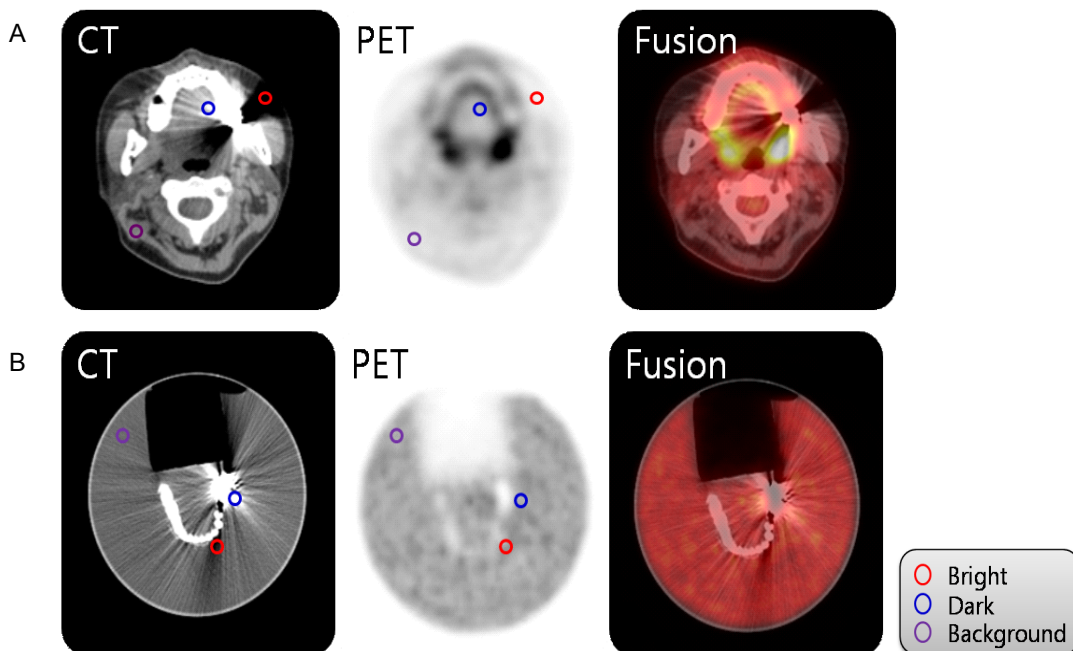


Fig. 3. The regions of interest was drawn to CT artifact image slice of (A) patients, (B) phantom to bright streak artifact region, dark streak artifact region and back ground region that analyzed CT number and SUV.

어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고  $-522.25 \pm 333.00$ , 평균  $-649.58 \pm 363$ 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1021.00 \pm 372.00$ , 평균  $801.08 \pm 348.00$  이었다. 인공물의 영향이 없는 부분은 어둡게 인공물이 나타난 부분에 비해 약 1548.88% 감소되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 1796.00% 증가했다. PET 검사에서 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분은 최고  $0.75 \pm 0.16$ , 평균  $0.74 \pm 0.15$ , 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1.01 \pm 0.43$ , 평균  $0.99 \pm 0.42$ 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1.50 \pm 0.46$ , 평균  $1.45 \pm 0.40$ 이었다. 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어둡게 인공물이 나타난 부분은 약 19.10% ( $p < 0.05$ ) 증가되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 96.62% ( $p > 0.05$ ) 증가했다(Fig. 4).

## 2. 팬텀실험

치아 보철을 매식한 팬텀의 CT 영상에서 CT 값이 인공물의 영향이 없는 부분은 최고  $18.60 \pm 10.11$ , 평균  $6.10 \pm 4.24$ , 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고  $-241.00 \pm 26.00$ , 평균

$-423.00 \pm 98.00$ 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고  $459.00 \pm 64.00$ , 평균  $252.01 \pm 22.00$ 이었다. 인공물의 영향이 없는 부분은 어둡게 인공물이 나타난 부분에 비해 약 1301.21% 감소되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 4206.77% 증가했다. PET 검사에서 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분은 최고  $1.18 \pm 0.59$ , 평균  $1.18 \pm 0.47$ , 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1.00 \pm 0.34$ , 평균  $1.00 \pm 0.24$ 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1.64 \pm 0.75$ , 평균  $1.42 \pm 0.54$ 이었다. 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어둡게 인공물이 나타난 부분은 약 18.1% ( $p < 0.05$ ) 감소되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 18% ( $p > 0.05$ ) 증가했다(Fig. 5).

치아 임플란트를 매식한 팬텀의 CT 에서 CT 값이 인공물의 영향이 없는 부분은 최고  $37.00 \pm 23.00$ , 평균  $33.00 \pm 12.00$ , 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고  $-138.00 \pm 96.00$ , 평균  $-347.00 \pm 121.00$ 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고  $463.00 \pm 263.00$ , 평균  $297.00 \pm 87.00$  이었다. 인공물의 영향이 없는 부분은 어둡게 인공물이 나타난 부분에 비해 약 1014.72% 감소되었고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 967.42% 증가했다.

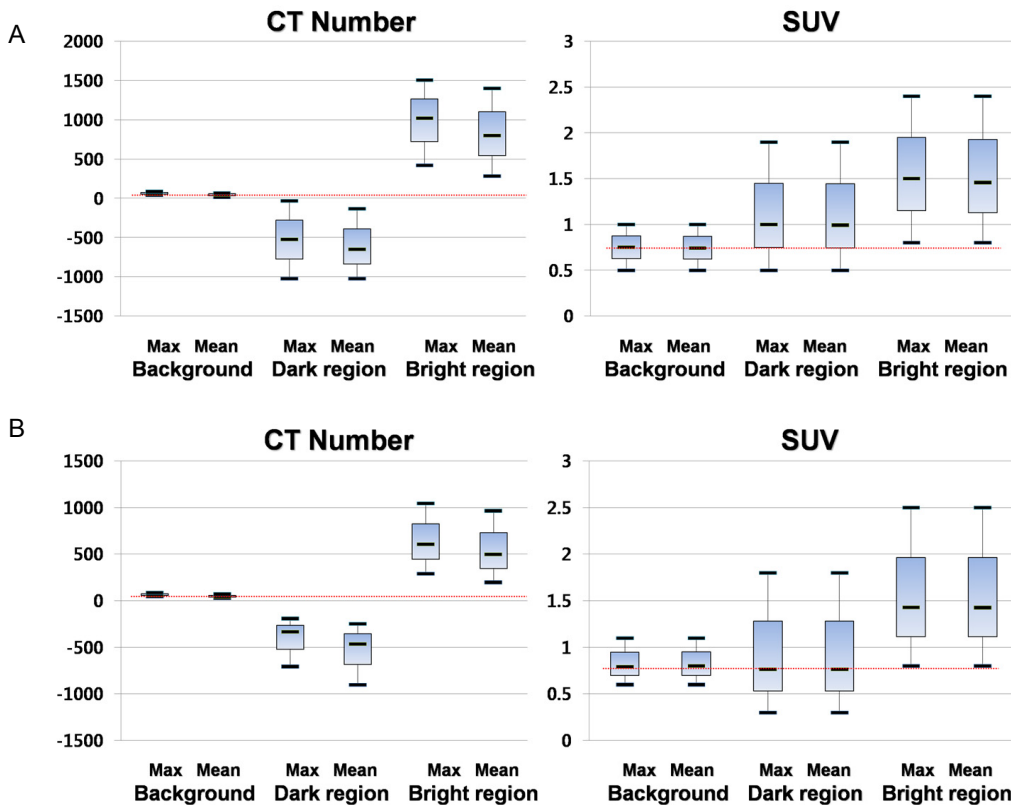


Fig. 4. Box plots of CT number and SUV in patients with implants (A), dental metal prostheses (B). SUV of dark steak artifact with implant was a slight increase, bright steak artifact was a substantially increased. SUV of dark steak artifact with dental metal prostheses was decreased, bright steak artifact was a substantially increased.

PET 검사에서 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분은 최고  $1.48 \pm 0.72$ , 평균  $1.47 \pm 0.52$ , 어둡게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1.35 \pm 0.42$ , 평균  $1.31 \pm 0.33$ 이고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 최고  $1.50 \pm 0.46$ , 평균  $1.44 \pm 0.40$ 이었다. 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어둡게 인공물이 나타난 부분은 약 14.10% ( $p < 0.05$ ) 감소됐고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 7.01% ( $p > 0.05$ ) 증가했다(Fig. 5).

## 고찰

본 연구에서는 치과 재료에 의한 인공물이 PET/CT 영상에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다. 하지만 PET 영상을 구현하는 방법은 CT를 이용한 감쇄보정 방법 외에  $^{137}\text{Cs}$ 이나  $^{68}\text{Ge}$ 을 이용하여 감쇄 보정하는 방법도 있다. 위 내용을 Hiroaki 등의 논문에서 두 대의 PET/CT 장비와 한 대의 PET 장비를 이용하여 phantom 실험을 통해 치과 재료의 인공물에 영향을 언급하였지만  $^{137}\text{Cs}$ 을 이용한 PET 장비를 이용한 실험 정보가 불충분하였다.<sup>1)</sup> 이론적으로 에너지가 높은  $^{137}\text{Cs}$ 이나  $^{68}\text{Ge}$ 에서 인공물의 영향이 없을 것으로 사료

되나<sup>2)</sup> 본 논문에서도 비교 실험을 하지 못하여 추후 보완하여야 할 것이다. 그리고 Hiroaki 등의 논문에서는 종양의 방사성동위원소 섭취 영상에 인공물이 영향 유무를 평가할 수 있는 구모양의 팬텀 (spherical phantom)을 이용하였으나 점선원의 방사성동위원소의 양을 조절하는데 어려움이 있어 본 연구에서는 평가하지 못했다.

위에서 언급된 바와 같이 CT 값에 따라서 PET/CT 영상에서 표준섭취계수에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.<sup>3,4,5,7)</sup> 팬텀 실험에서 CT 기반의 감쇄보정의 결과 밝게 나타난 인공물과 어둡게 나타난 인공물에서는 PET 영상에서 과대평가 되거나 과소평가 된다. 환자 실험에서도 CT 기반의 감쇄보정의 결과 밝게 나타난 인공물과 어둡게 나타난 인공물에서는 PET 영상에서 과대평가 되거나 과소평가 된다.<sup>8)</sup> 치과 재료의 높은 원자번호로 인해 CT 값의 변화가 원인이다. 그러나 본 연구 결과 임플란트를 매식한 팬텀 실험에서는 오히려 어둡음 인공물이 발생하였음에도 불구하고 PET 영상에서 과대평가되었다(Fig. 4). 하지만 환자실험에서는 임플란트, 보철 모두 어둡게 나타난 인공물에서 PET 영상은 과소평가되어 나타났다. 팬텀실험에서는 매식한 임플란트가 한

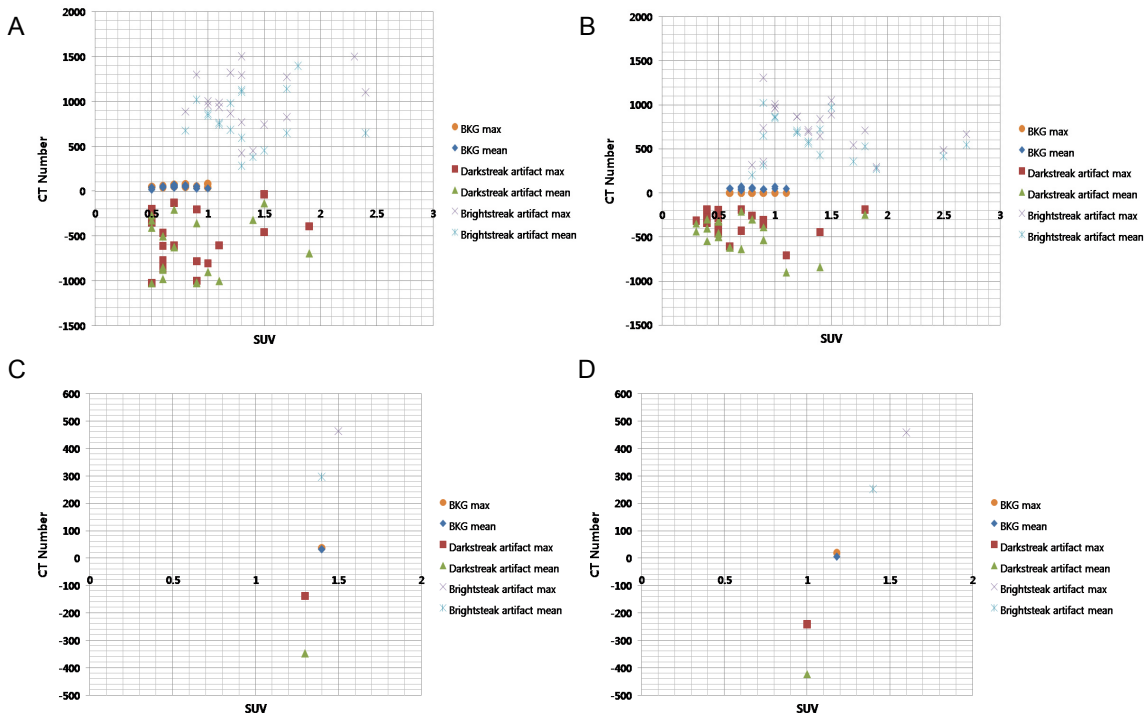


Fig. 5. These graphs represent CT number and SUV relation of patients with dental implants (A), patients with dental metal prostheses (B), phantom with dental implants (C), phantom with dental metal prostheses (D). CT number in the background with implant was compared to the value of SUV similar or overestimate, bright streak artifact region with prosthesis was considered overestimate, dark streak artifact region has been underestimated in. With dental metal prostheses was changed SUV more than with implant, PET images have larger impact on.

개로 인공물의 영향이 적었을 것으로 추측한다. 그리고 인공물의 영향도 임플란트보다 치과 금속 보철의 영향이 더 크다 (Fig. 5). 그 원인은 임플란트의 원자번호가 금속 치아 보철보다 낮고 크기가 작아 상대적으로 인공물의 영향이 더 적은 것으로 사료된다. 결과적으로 CT 값이 높게 평가된 영역에서 표준섭취계수도 높게 평가되는 현상을 보여 주고 있다. 하지만, CT 값이 낮게 평가된 부분은 표준섭취계수가 많은 차이로 낮게 평가되지 않는다. 하지만 정확한 진단을 위해서 영향을 받지 않는 정보를 제공해야 한다. 그러므로 CT로 보정되지 않은 즉, CT 값에 영향을 받지 않은 무 보정 PET (non-attenuation correction PET image) 영상을 확인하는 것이 CT 값에 의해 PET 영상에 영향의 유무를 판단하는데 도움이 될 것이다.

## 결 론

PET/CT 검사의 CT 기반 보정 영상 구현 시 금속 치과 재료로 인해 CT 값에 영향을 주어 PET 영상에서도 표준섭취계수에 영향이 미치는 것을 볼 수 있다. 그리고 치아 임플란트보다 치아 보철에서 과보정이 된 것을 볼 수 있다. 특히, 치아 보철에서 표준섭취계수가 어렵게 인공물이 나타난 부분에서 19.64% 감소되어 나타난 것을 확인 할 수 있어 위 음성으로 오인할 가능성이 있다. 그러므로 금속 치아 보철이나 임플란트를 시행한 환자들의 PET/CT 검사 시 구강 내 병변이 의심된다면, CT 영상으로 보정이 되지 않은 무 보정 PET 영상을 확인하는 것이 정확한 진단에 도움을 줄 것으로 사료된다.

## 요 약

PET/CT 검사는 기술의 발전에 따라 감쇄보정 방법이  $^{68}\text{Ge}$ 이나  $^{137}\text{Cs}$  등의 동위원소를 사용하지 않고, CT 기반의 감쇄보정 영상을 구현하여 검사 시간의 단축과 해부학적인 영상을 제공한다. 그러나 CT 기반의 금속에 의한 CT 영상의 인공물이 발생하여 감쇄보정된 PET 영상에 영향을 준다. 그러므로 본 연구는 임상 실험과 phantom 실험을 통해 금속 치과 임상 실험은 구강 내질환이 없는 40명의 환자(평균나이:  $56 \pm 17$ 세)를 대상으로 하였으며, 치아에 치과보철을 매식한 환자 20명과 치과 임플란트를 매식한 환자 20명을 대상으로 PET/CT 검사를 시행했다. phantom 실험은 원형 phantom 내에 치과보철과 치과 임플란트를 매식한 치아모형을 이용

하여 PET/CT 검사를 시행했다. 분석방법은 같은 단층상의 PET/CT 영상에서 CT 영상의 CT 값과 PET 영상의 표준섭취계수 변화를 인공물의 영향이 없는 부분, 어렵게 인공물이 나타난 부분, 밝게 인공물이 나타난 부분, 세 부분의 관심영역을 설정하여 측정했고, 통계분석은 대응표본 *t*-test를 이용했다. 치아 보철을 매식한 실험에서 환자의 경우 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어렵게 인공물이 나타난 부분은 약 19.6% ( $p < 0.05$ ) 감소됐고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 90.1% ( $p > 0.05$ ) 증가했다. phantom의 경우 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어렵게 인공물이 나타난 부분은 약 18.1% 감소됐고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 18.0% 증가했다. 치아 임플란트를 매식한 실험에서 환자의 경우 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어렵게 인공물이 나타난 부분은 약 19.1% ( $p < 0.05$ ) 증가됐고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 96.6% ( $p > 0.05$ ) 증가했다. phantom의 경우 표준섭취계수가 인공물의 영향이 없는 부분에 비해 어렵게 인공물이 나타난 부분은 약 14.4% 감소됐고, 밝게 인공물이 나타난 부분은 7.0% 증가했다. PET/CT 검사의 CT 기반 보정 영상 구현 시 금속 치과 재료로 인해 CT 값에 영향을 주어 PET 영상에서도 표준섭취계수에 영향이 미치는 것을 볼 수 있다. 그리고 치아 임플란트보다 치아 보철에서 과 보정이 된 것을 볼 수 있다. 특히, 임상 실험에서 치아 보철의 표준섭취계수가 어렵게 인공물이 나타난 부분이 19.6% 감소되어 나타난 것을 확인 할 수 있어 위 음성으로 오인할 가능성이 있다. 그러므로 금속 치아 보철이나 임플란트를 시행한 환자들의 PET/CT 검사 시 구강 내 병변이 의심 된다면, CT 영상으로 보정이 되지 않은 무 보정(non-attenuation correction) PET 영상을 확인하는 것이 정확한 진단에 도움을 줄 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. Hiroaki Shimamoto, Naoya Lalimoto, Kouichi Fujino, Seiki Hamada, Eku Shimosegawa, Shumei Murakami. Metallic artifacts cause by dental metal prostheses on PET images: a PET/CT Phantom study using different PET/CT scanners. *Ann Nucl Med* 2009;23:443-449
2. Sandra J. Rosenbaum, Thomas Lind, Gerald Antoch, Andreas Bockisch. False-positive FDG PET Uptake - the Role of PET/CT. *Eur Radiol* 2006; 16:1054-1064
3. Waheeda Sureshababu, Osama Mawlaqwi. PET/CT Imaging Artifacts. *J Nucl Med Technol* 2005;33:156-161
4. Oliver Watzke, Willi A. Kalender. A pragmatic approach to metal artifact reduction in CT: merging of metal artifact reduced

- images. *Eur Radiol* 2004; 14:849-856
5. Heiko Schoder, Henry W. D. Yeung, Mitthat Gonen, Dennis Kraus, Steven M. Larson. Head and Neck Cancer: Clinical Usefulness and Accuracy of PET/CT Image Fusion. *Radiology* 2004;231: 65-72
  6. Gerhard W. Goerres, Sibyll I. Ziegler, Cyrill Burger, Thomas Berthold, Gustav K. von Schulthes, Alfred Buck. Artifacts at PET and PET/CT Caused by Metallic Hip Prosthetic Material. *Radiology* 2003;226:577-584
  7. Cohade C, Osman M, Nakamoto Y, Marshall L, Links J, Fishman E, Wahl R. Initial Experience with Oral Contrast in PET/CT: Phantom and Clinical Studies. *J Nucl Med* 2003;44: 412-416
  8. Ehanb M. Kamel, Cyrill Burger, Alfred Buck, Gustav K. von Schulthes, Gerhard W. Goerres. Impact of Metallic dental implants on CT-based attenuation correction in a combined PET/CT scanner. *Eur Radiol* 2003;13:724-728
  9. Gerhard W. Goerres, Thomas F. Hany, Ehab Kamel, Gustav K. von Schulthes, Alfred Buck. Head and neck imaging with PET and PET/CT: artifacts from dental metallic implants. *Eur J Nucl Med* 2002;29:367-370
  10. B. De Man, J. Nuyts, P. Dupont, G. Marcha, P. Suetens. Reduction of metal streak artifacts in x-ray computed tomography using a transmission maximum a posteriori algorithm. *IEEE Trans Nucl SCI* 2000;47:977-981