

## <sup>18</sup>F-FDG PET 지연영상 생성에 대한 딥러닝 이미지 생성 방법론 비교

알마스라마니 모아스<sup>\*\*\*,O</sup>, 김강산<sup>\*\*</sup>, 변병현<sup>\*\*\*</sup>, 우상근<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>과학기술연합대학원대학교 방사선종양학과,

<sup>\*\*</sup>한국원자력의학원 RI중개연구팀,

<sup>\*\*\*</sup>한국원자력의학원 핵의학과

e-mail: {muathmusbah, krmount, nmbbh, skwoo}@kirams.re.kr

### Comparison of Paired and Unpaired Image-to-image Translation for <sup>18</sup>F-FDG Delayed PET Generation

ALMASLAMANI MUATH<sup>\*\*\*,O</sup>, Kangsan Kim<sup>\*\*</sup>, Byung Hyun Byun<sup>\*\*\*</sup>, Sang-Keun Woo<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Radiological and Medico-Oncological Sciences, University of Science and Technology,

<sup>\*\*</sup>Division of RI-Convergence Research, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences,

<sup>\*\*\*</sup>Department of Nuclear Medicine, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences

#### ● 요약 ●

본 논문에서는 GAN 기반의 영상 생성 방법론을 이용해 delayed PET 영상을 생성하는 연구를 수행하였다. PET은 양전자를 방출하는 방사성 동위원소를 표지한 방사성의약품의 체내 분포를 시각화함으로써 암 세포 진단에 이용되는 의료영상 기법이다. 하지만 PET의 스캔 과정에서 방사성의약품이 체내에 분포하는 데에 걸리는 시간이 오래 걸린다는 문제점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 방사성의약품이 충분히 분포되지 않은 상태에서 얻은 PET 영상을 통해 목표로 하는 충분히 시간이 지난 후에 얻은 PET 영상을 생성하는 모델을 GAN (generative adversarial network)에 기반한 image-to-image translation(I2I)를 통해 수행했다. 특히, 생성 전후의 영상 간의 영상 쌍을 고려한 paired I2I인 Pix2pix와 이를 고려하지 않은 unpaired I2I인 CycleGAN 두 가지의 방법론을 비교하였다. 연구 결과, Pix2pix에 기반해 생성한 delayed PET 영상이 CycleGAN을 통해 생성한 영상에 비해 영상 품질이 좋음을 확인했으며, 또한 실제 획득한 ground-truth delayed PET 영상과의 유사도 또한 더 높음을 확인할 수 있었다. 결과적으로, 딥러닝에 기반해 early PET을 통해 delayed PET을 생성할 수 있었으며, paired I2I를 적용할 경우 보다 높은 성능을 기대할 수 있었다. 이를 통해 PET 영상 획득 과정에서 방사성의약품의 체내 분포에 소요되는 시간을 딥러닝 모델을 통해 줄여 PET 이미징 과정의 시간적 비용을 절감하는 데에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**키워드:** 딥러닝 이미지 생성 방법론 (Image-to-image translation, I2I), 양전자 방출 단층촬영 (Positron emission tomography, PET), 적대적 생성 신경망 (Generative adversarial network, GAN)

## I. Introduction

Positron emission tomography(PET)은 체내 물질대사에 관여하거나 특정 기관에 대한 표적성을 가지는 화학물질에 양전자를 방출하는 동위원소를 표지해 해당 물질의 체내 분포를 영상화하는 기능적 영상 방법론 중 하나이다. 동위원소로부터 방출된 양전자는 주변 원소에 존재하는 전자와 쌍소멸 반응을 일으켜 2개의 광자를 생성하며, 이를 검출함으로써 물질의 위치를 특정할 수 있게 된다. PET의 추적물질로 널리 쓰이는 FDG (fluorodeoxyglucose)는 포도당 유사체로

방사성 동위원소인 <sup>18</sup>F와 표지해 체내 당 대사를 시각화하는 방사성의약품으로 널리 사용되고 있다.

PET 영상 획득을 위해서 방사성의약품 주입 후 의약품이 체내에 분포하는 시간을 기다려야 한다는 한계가 존재하는데, FDG의 경우 약 한 시간, 방사면역치료에 사용되는 항체 기반 의약품의 경우 약 2일을 기다려야 한다는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 인공지능 기반 영상 생성 방법론을 통해 의약품 주입 후 조기에 얻은 PET

영상(early PET)으로 체내에 충분히 분포된 후의 PET 영상(delayed PET)을 생성하는 연구를 수행하였다. 특히, 본 연구에서는 early PET과 delayed PET 쌍을 이용한 지도학습의 성능을 비지도학습과 비교해 평가했다.

## II. Materials and Methods

### 1. PET 영상 준비

Early PET과 대응되는 delayed PET을 얻기 위해 18명의 환자에 대해 <sup>18</sup>F-FDG를 주입한 후 7분이 지났을 때 21분까지 스캔해 early PET을 획득했으며, 42분이 지났을 때 63분까지 스캔해 delayed PET을 획득했다. 3D OSEM(ordered subset expectation maximization)을 통해 재건된 3D PET 영상을 얻었으며, 18명의 환자에 대해 총 7,002개의 axial slice를 얻었다.

Table 1. PET image information

Name	Info
Voxel size (mm)	5.3456, 5.3456, 5.0
Number of voxels	128, 128, 389

### 2. 자연 영상 생성 딥러닝 방법론

본 연구에서는 early PET을 통한 delayed PET 생성을 위한 방법론으로 GAN(generative adversarial network) 기반의 image-to-image translation(I2I)을 사용하였다. I2I는 생성 전후의 영상 도메인 내의 원소 쌍 여부에 따라 paired I2I와 unpaired I2I로 나뉜다. 본 연구에서는 paired I2I로 Pix2pix, unpaired I2I로 CycleGAN을 사용해 동일한 네트워크 구조를 통해 성능을 비교하였다.

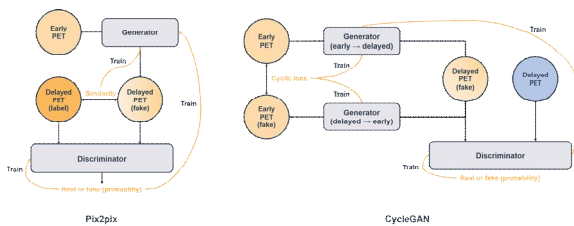


Fig. 1. Pix2pix(좌) 및 CycleGAN(우) 방법론 개요

GAN은 생성자(generator) 네트워크와 판별자 네트워크(discriminator)로 구성되어 있으며 생성자 네트워크는 입력 영상으로부터 출력 영상을 만드는 기능을 수행한다. 또한 판별자는 생성자로부터 만들어진 영상 혹은 실제 영상을 입력받아 영상이 해당 영상 도메인에 속할 확률을 출력한다. GAN 기반 딥러닝 방법론의 학습은 판별자로부터 얻어진 진짜 영상이 진짜로 판별될 확률을 높이는 식으로 생성자를 학습하고 동시에 이를 낮아지게끔 판별자를 학습하는 적대적 학습을 수행한다.

Pix2pix는 훈련 데이터셋의 source domain에 속한 영상과 target domain에 속한 영상 간 쌍이 존재할 때 도메인 간 영상 생성을

수행하는 방법론이다. 입력영상 A와 출력영상 B가 쌍을 이룰 때, A를 생성자에 입력시켜 얻는 B'는 B와 동일해야 하므로, B와 B' 간의 영상 유사도를 학습에 사용한다.

CycleGAN은 source domain과 target domain 내 원소간 쌍이 존재하지 않아도 사용할 수 있는 방법론이다. Pix2pix와 달리 입력영상 A를 generator에 넣어 얻는 영상의 실제 레이블이 존재하지 않기 때문에 반대의 역할을 수행하는 generator를 통해 얻는 출력 영상 A'와 A간의 영상 유사도 (cyclic loss)를 학습에 사용한다. 또한, target domain에 존재하는 영상 B에 대해서도 동일한 과정을 수행해 양방향으로 학습을 진행한다.

### 3. 생성영상 정량평가

생성된 영상과 실제 delayed PET 간 영상 유사도를 평가하기 위해 PSNR(peak signal-to-noise ratio)를 사용했다. 또한, 자각적인 유사도를 평가하기 위해 GAN 출력 영상에 대해 널리 사용되고 있는 FID (Frechet inception distance)를 사용했다. 실제 데이터셋의 특징맵의 평균과 공분산 행렬을  $\mu, \Sigma$ , 생성된 데이터셋의 특징맵의 평균과 공분산 행렬을  $\mu_g, \Sigma_g$ 라고 할 때, FID는 다음과 같이 계산된다.

$$FID = \|\mu - \mu_g\|^2 + tr(\Sigma + \Sigma_g - 2(\Sigma \Sigma_g)^{1/2})$$

## III. Result

Fig. 2는 Pix2pix 및 CycleGAN을 통해 생성된 delayed PET, 입력된 early PET 및 실제 delayed PET을 나타낸 그림이다. 이를 통해 Pix2pix를 통해 생성된 delayed PET이 CycleGAN을 통해 생성한 영상보다 label 영상에 가까움을 확인할 수 있었다.

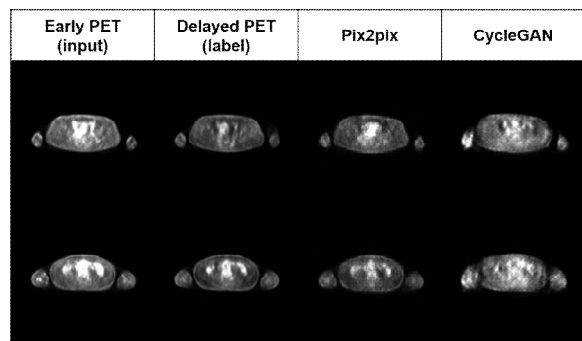


Fig. 2. 실험을 통해 획득한 Early PET 및 delayed PET 영상, 딥러닝 모델 pix2pix 및 cycleGAN을 통해 생성한 delayed PET 영상 비교

Table 2는 Pix2pix 와 CycleGAN을 통해 생성된 PET 영상과 실제 획득한 delayed PET 간의 유사도를 정량평가한 결과이다. 정량평가 결과, PSNR과 FID 두 지표 면에서 모두 Pix2pix가 높은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

Table 2. Pix2pix 및 CycleGAN을 통한 영상 생성 정량평가 결과

	Pix2pix	CycleGAN
PSNR(dB)	57.85	47.45
FID	4.953	17.33

#### IV. Conclusions

본 연구에서는 GAN 기반 영상 생성 방법론을 통해 early PET으로 delayed PET을 생성할 수 있었다. 또한, 방법론을 비교했을 때 early PET과 delayed PET 간의 영상 쌍을 고려한 paired I2I가 보다 높은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 본 연구결과는 PET 영상 획득 과정에서 방사성의약품의 체내 분포에 대한 시간적 비용을 줄이는 데에 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

#### REFERENCES

- [1] Payolla, Filipe Boccato, Antonio Carlos Massabni, and Chris Orvig. "Radiopharmaceuticals for diagnosis in nuclear medicine: a short review." *Eclética Química* 44.3 (2019): 11-19.
- [2] Eberlein, Uta, et al. "Biokinetics and dosimetry of commonly used radiopharmaceuticals in diagnostic nuclear medicine—a review." *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 38 (2011): 2269-2281.
- [3] Goodfellow, Ian, et al. "Generative adversarial networks." *Communications of the ACM* 63.11 (2020): 139-144.
- [4] Gulrajani, Ishaan, et al. "Improved training of wasserstein gans." *Advances in neural information processing systems* 30 (2017).
- [5] Isola, Phillip, et al. "Image-to-image translation with conditional adversarial networks." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2017.
- [6] Zhu, Jun-Yan, et al. "Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks." *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2017.