

소동물에서 18F-Fallypride의 비방사능에 따른 뇌의 PET이미지와 Binding Potential 차이에 대한 연구

A study of Brain Micro-PET Imaging and Bindingpotential with a Different Specific Activity of 18F-Fallypride in the Small Animal

조규상*, 안성민**

핵광산업*, 가천대학교 방사선학과**

Kyu-Sang Cho(cks_1201@naver.com)*, Sung-Min Ahn(sman@gachon.ac.kr)**

요약

본 연구에서는 비방사능 값에 따른 소동물 in vivo실험에서 어느 정도의 비방사능에서부터 수용체-리간드의 결합능력의 변화와 선조체에서의 방사능 집적에 변화가 있는지를 규명하고자 실험을 진행하다. 18F-Fallypride을 3가지 값 ; 높은 비방사능 : 43.29~74 GBq/umol, 중간 비방사능 : 20.72~29.23 GBq/umol, 낮은 비방사능 : 6.29~8.51 GBq/umol)으로 나누어 순차적으로 혈관주사 후 Micro PET을 이용하여 90분 동적 스캔 하였다. 스캔 후 양쪽 선조체에서 Binding Potential(BP)을 구한 후 비교 분석하였다. 높은 비방사능과 낮은 비방사능, 중간 비방사능과 낮은 비방사능에서 유의한 차이가 나타났다. 또한 18F-Fallypride을 이용한 PET 영상비교에서는 높은 비방사능과 중간 비방사능에서는 선조체 에서 높은 방사능집적을 보여주었지만, 낮은 비방사능에서는 다른 두 비방사능에 비해 낮은 방사능 집적을 볼 수 있었다. 이는 18F-Fallypride의 약동학적 특성상 D2/D3에 대한 친화성이 좋기 때문에 비방사능 값이 어느 정도 떨어진 상태에서도 BP의 차이가 크지 않았다. 하지만 높은 비방사능에 비해 6.5배 낮은 비방사능 값부터는 이미지 및 BP의 차이가 유의하게 나왔으므로 앞으로 18F-Fallypride을 이용한 선조체 PET연구에서는 이를 고려하여 실험 할 필요가 있을 것이다.

■ **중심어** : | 비방사능 | 방사성의약품 | 도파민 |

Abstract

In this study, we proceed if there are any changes in binding ability of receptor-ligand in some degree of SA and in radioactive uptake from the corpus striatum based on small animal experiment in vivo based on the S.A values. By dividing 18F-Fallypride into 3 S.A values(high S.A : 43.29~74 GBq/umol, ordinary S.A : 20.72~29.23 GBq/umol, low S.A : 6.29~8.51 GBq/umol), we injected directly into the veins and performed 90 minutes of dynamic scan using Micro PET. After scanning, we compared and analyzed with Binding Potential (Binding Potential) from the bilateral striatum. high SA and low SA, ordinary SA and low SA showed significant differences. Also, in the image comparison using 18F-Fallypride show high radioactive uptake in the striatum at high SA and ordinary SA, but the radioactive uptake at low SA is lower than other two SA. Since 18F-Fallypride has affinity to dopamine D2/3 pharmacokinetic, the difference of Binding Potentials at decreased level of SA values was not that significant. However, further PET research of the corpus striatum using 18F-Fallypride is necessary because the differences in images and Binding Potentials at 6.5 times smaller SA values compared to high SA value showed were significant.

■ **keyword** : | Specific Activity | 18F-Fallypride | Binding Potential |

I. 서론

PET(Positron Emission Tomography)은 현재 뇌 영상 연구에서 MRI (Magnetic Resonance Imaging)와 함께 가장 많이 쓰이는 의료영상기기 중 하나로 특히, PET은 조기 암 발견을 진단 할 뿐만 아니라 뇌의 기능적, 생물학적 작용을 비침습적으로 진단 할 수 있는 영상 장비이다[1]. PET을 이용하여 알츠하이머병 (Alzheimer's disease) 이나 파킨슨씨병 (Parkinson's disease) 과 같은 퇴행성 뇌 질환 질병의 조기발견이나 진단을 위해서는 해상도가 높은 장비를 이용해야 할 뿐만 아니라, 병소가 발생하는 뇌의 특정 부위에 작용하는 방사성동위원소를 사용해야한다. 파킨슨씨병은 뇌의 흑질(substance nigra)내 도파민세포의 파괴로 선조체 (striatum)에서 도파민 신경세포의 퇴행이 진행되어 도파민, 도파민 수용체 및 도파민 운반체의 부족으로 인해 근육의 강직, 운동완만, 보행이상, 떨림 증상과 인지능력의 장애를 나타내는 중추신경계의 퇴행성질환으로 알려졌다[2][3].

파킨슨씨병에 사용하는 방사성의약품으로는 D2/D3 수용체에서 작용하는 11C-Raclopride, D2/D3수용체에 11C-Raclopride보다 친화성이 더 좋아 선조체 뿐만 아니라 상대적으로 D2/D3수용체의 밀도가 낮은 대뇌피질 영역에서도 결합하는 18F-Fallypride가 사용 되고 있다[4].

18F-Fallypride는 D2/D3수용체에 특이적으로 결합하는 길항제로서[5], 11C-Raclopride와 비교했을 때 매우 높은 친화력을 가지고 있다. in vitro 실험에서 18F-Fallypride의 해리상수 (K_d)는 0.03nM이고[6][7], 11C-Raclopride의 해리상수는 1.2nM[8]로 측정되었는데 이는 해리상수가 낮을수록 리간드-수용체간의 친화력이 더 높다고 말할 수 있다. 그렇기 때문에 11C-Raclopride는 D2/D3수용체가 많은 선조체에서만 영상을 얻을 수 있고 선조체 이외의 지역에서는 D2/D3수용체의 밀도가 낮기 때문에 신호 대 잡음비(signal-to noise)가 낮다. 하지만 18F-Fallypride의 경우 선조체 뿐만 아니라 시상(thalamus), 중뇌(midbrain), 편도체(amygdala), 해마(hippocampus), 내후각피질(entorhinal

cortex) 에서도 D2/D3수용체의 분포를 볼 수 있다[9].

사이클로트론(Cyclotron)을 이용하여 방사성동위원소를 생산 후 수소이온농도지수(PH), 무균성, 비 발열성, 안정성, 화학적순도, 방사성핵종순도, 방사화학적순도등 여러 가지 품질관리를 시행한다. 그 중 비방사능 (specific activity)은 방사성의약품의 단위질량당 방사능의 양으로서 뇌의 수용체-리간드 연구에서 중요한 역할을 하고 있다.

비방사능이 낮게 되면, 방사선을 방출하지 않는 동위원소와 합성 된 전구체에 의해 신경 수용체의 결합이 증가하고 그로 인해 방사능을 방출하는 동위원소와 합성 된 전구체의 결합이 줄어들게 된다[10].

그러나 비방사능이 높은 11C-Raclopride같은 경우 비방사능이 높을 경우 선조체에 분포되어있는 D2/D3수용체 뿐만 아니라, 대뇌피질에 분포되어있는 D2/D3수용체 에서도 좀 더 확연한 분포를 볼 수 있다[11].

본 연구에서는, 18F-Fallypride을 이용하여 실험을 진행하였는데 11C-Raclopride의 D2/D3수용체 연구는 많이 진행되었고, 18F-Fallypride는 11C-Raclopride보다 반감기가 길어 장기간 PET검사에 좀 더 유용하다. 또한 선조체에서 D2/D3수용체의 친화성이 좋을 뿐만 아니라 선조체 이외의 지역에서도 D2/D3수용체의 분포를 볼 수 있다.

그러나 높은 비방사능 값을 가진 방사성 리간드를 생산 하는 것은 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 이전연구에서 진행된 비방사능 값보다 낮은 비방사능 값을 선정하여 비방사능 값에 따른 소동물 in vivo실험에서 어느 정도의 비방사능에서부터 수용체-리간드의 결합능력의 변화와 선조체에서의 방사능 집적에 변화가 있는지를 규명하고자 실험을 진행하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 실험기간 및 방법

총 10마리의 SD RAT중 실험 일정 상 RAT01 ~ RAT05 개체는 2014년 1월 13일부터 2014년 2월 17일까지, RAT06 ~ RAT10 개체는 2014년 4월 29일부터

2014년 5월19일 까지 Focus 120 Micro PET(Concorde Microsystem, Knoxville, TN)을 이용하여 영상을 획득 하였다.

2. 실험재료 및 방법

18F-Fallypride을 3가지 비방사능 값(높은 비방사능 : 43.29~74 GBq/umol, 중간 비방사능 : 20.72~29.23 GBq/umol, 낮은 비방사능 : 6.29~8.51 GBq/umol)으로 나누어 순차적으로 혈관주사 후 Micro PET을 이용하여 90분간(frame x time : 1x60s, 3x60s, 6x20s, 4x60s, 2x120s, 4x240s, 12x300s 총 34frame) 동적 스캔 하였다. 주사된 방사능의 양은 실험당일 동물의 무게에 따라 100 g당 18.5 MBq에 맞추어 주사했고 RAT05의 높은 비방사능 값은 실험 중 오류가 발생하여 데이터에서 제외하였다. 스캔 후 양쪽 선조체에서 Binding Potential(BP)을 구한 후 비교 분석하였다. 높은 비방사능 값은 생산 시 평균값으로 정한 후 중간비방사능, 낮은 비방사능 값을 정하였다.



그림 1. Micro PET(Focus 120) 과 Sprague Dawley Rat

3. 영상분석

스캔 후 영상 확인을 위해 OSEM-3D(ordered subset expectation maximization)을 이용하여 재구성을 시행 하였고 Vinci 2.54 (Max-Planck-Institute for Neurological Research Cologne)을 통하여 관심영역 (region of interest : ROI)을 선조체로 설정한 후 방사능 집적을 분석하였다. Binding Potential분석을 위해 여과후역투사(Filtered back projection : FBP)로 다시 재구성하였고 FBP로 재구성된 영상은 PMOD 3.2v

(PMOD Technologies Ltd., Zurich, Switzerland)을 이용하여 양쪽 선조체 전체를 관심영역으로 잡고 D2/D3 수용체가 적다고 알려져 있는 소뇌 부위를 참고영역 (reference region)으로 두고 Binding Potential을 구하였다. Vinci를 통한 방사능집적 분석은 1반복을 실시하였고, PMOD을 이용한 Binding Potential 분석은 각각의 비방사능 값에서 2반복을 실시하였다.

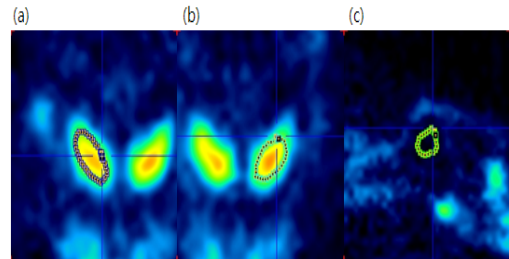


그림 2. 양쪽 선조체 및 소뇌에서의 관심영역(Region Of Interest ; ROI) 설정

4. 통계분석

통계학적 분석은 SPSS Version 21.0 프로그램을 사용하였으며 양쪽 선조체에서 구한 Binding Potential을 평균내어 높은 비방사능, 중간 비방사능, 낮은 비방사능 각각의 세가지 등급의 Binding Potential값의 차이를 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 검증 하였다.

III. 결과

1. 비방사능에 따른 이미지 차이

각각의 비방사능 값에 따른 영상을 비교해 보았다. [그림 3]와 [표 1]에서, 높은 비방사능(a) 값을 가지는 영상의 선조체 에서 가장 높은 방사능 집적을 볼 수 있었고, 낮은 비방사능(c) 값을 가지는 영상에서의 선조체는 높은 비방사능 값에서의 선조체 보다 낮은 방사능 집적을 볼 수 있었다(p<0.01). 또한 (a)와 (b)를 비교해 보았을 때 중간 비방사능(b) 값에서는 높은 비방사능 값의 선조체 방사능 집적과 차이가 없었다(p<0.674).

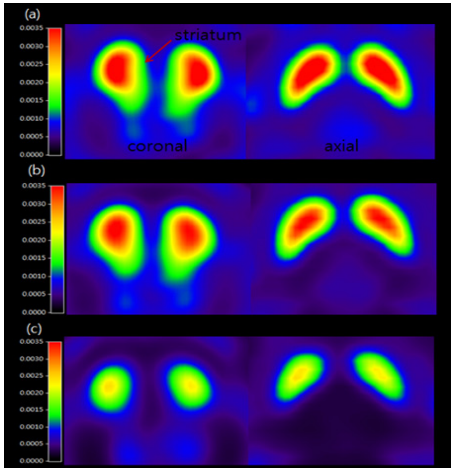


그림 3. 각 비방사능별 선조체에서의 18F-Fallypride의 섭취(uptake)비교

표 1. PET 이미지에서의 방사능 Uptake

	높은 비방사능	중간 비방사능	낮은 비방사능
RAT01	0.003047	0.002355	0.001996
RAT02	0.002317	0.00229	0.001688
RAT03	0.002445	0.00311	0.001036
RAT04	0.002254	0.0022	0.001465
RAT05	데이터 제외	0.002565	0.002333
RAT06	0.002626	0.002367	0.001932
RAT07	0.002742	0.002551	0.001813
RAT08	0.002978	0.002266	0.002172
RAT09	0.002792	0.002413	0.001577
RAT10	0.002141	0.002561	0.001867
평균	0.002593	0.002467	0.001788
표준 오차	0.000107	0.000082	0.000117
p-value	p<0.01		

2. 비방사능에 따른 Binding Potential 차이

3가지 등급의 비방사능 값에 따른 Binding Potential 을 구하였고, 각각의 Binding Potential 값은 [그림 2]에서처럼 양쪽 선조체와 소뇌에 ROI를 그려서 측정하였으며, 2번 반복하여 평균값을 내었다. [그림 4]에서 높은 비방사능 값에서의 Binding Potential 값은 12.5 ± 0.48 (mean \pm SE), 중간 비방사능 값에서는 12.27 ± 0.64 , 낮은 비방사능 값에서는 9.18 ± 0.37 로 높은 비방사능 값에서 Binding Potential이 가장 높게 나왔다. 높은 비방사능과 낮은 비방사능 값에서 가장 많은

차이를 보였으며, 중간 비방사능과 낮은 비방사능 값에서도 유의한 차이를 보였다(** : $p < 0.01$).

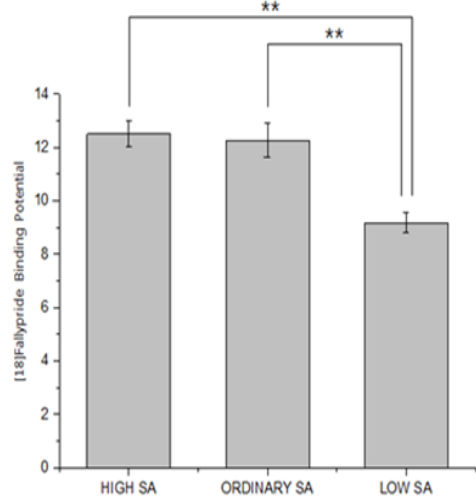


그림 4. 각 비방사능별 Binding Potential 비교

IV. 고찰

방사성의약품의 정도 관리는 물리, 화학적으로 안정한 상태를 유지하기 위해 꼭 필요한 절차이고, 진단 핵의학 검사에서 영상의 질 저하로 인한 질병 진단의 오류를 방지하고 환자의 안전을 위한 꼭 필요한 절차이다 [12].

방사성핵종순도, 방사화학적순도, 수소이온농도지수, 비발열성검사, 무균검사 등 많은 방사성의약품 정도 관리 중에서 비방사능(Specific Activity, S.A)은 방사성의약품과 수용체간의 결합력 연구에서 매우 중요한 정도 관리 중에 하나이다.

이전 연구에서 11C-Raclopride을 이용한 자기방사법 (autoradiography) RAT실험에서는 $6,212 \text{ GBq}/\mu\text{mol} \sim 2,458 \text{ GBq}/\mu\text{mol}$ 에서는 리간드의 Binding과 Radioactivity에서는 큰 차이가 없었지만, $40 \text{ GBq}/\mu\text{mol}$ 부터는 그 값이 점차 떨어지고, $0.41 \text{ GBq}/\mu\text{mol}$ 에서는 Binding과 Radioactivity를 찾아 볼 수 없었다[11].

또한 사람을 대상으로 한 비방사능차이에 의한

11C-Raclopride PET실험에서는 216 ± 65 GBq/ μ mol 이상의 비방사능 값을 가지는 리간드(ligand)를 사용했을 시, 선조체 에서 두드러진 Binding Potential의 차이가 없었고 대뇌피질에서도 도파민 수용체의 분포가 관찰되었다[5].

하지만 한 번의 생산으로 장기간 동안 실험을 진행하는 소동물의 in vivo PET실험에서는 처음 진행한 실험과 나중에 진행한 실험에서의 비방사능 값의 차이가 발생 되기 때문에 이로 인한 정량적인 분석 시 오류가 발생할 수 있다.

또한, 사람의 경우 100 GBq/ μ mol 정도의 비방사능 값이면 정량적인 Binding Potential분석 시 차이가 없는 결과 나타났지만 mouse와 같은 소동물 실험 시 체중당 주사하는 양이 사람보다 높기 때문에 높은 비방사능 값을 이용하는 것이 바람직한 방법일 것이다[5].

이번 연구에서는 18F-Fallypride을 이용한 선행 연구가 없는 점, 소동물을 이용한 in vivo PET 실험이 없는 점을 이용하여, 18F-Fallypride을 이용해 RAT에서 PET영상과 Binding Potential의 차이를 비교해보았다.

각 비방사능에 따른 영상비교에서는 높은 비방사능에서 가장 높은 방사능 집적을 볼 수 있었고, Binding Potential차이에서도 높은 비방사능 ($43.29 \sim 74$ GBq/ μ mol)이 낮은 비방사능 ($6.29 \sim 8.51$ GBq/ μ mol)보다 26.54% 더 높게 나타났다. 하지만 높은 비방사능과 중간 비방사능 ($20.72 \sim 29.23$ GBq/ μ mol)에서는 그 차이가 크지 않았다. 이는 18F-Fallypride의 약동학적 특성상 D2/D3수용체에 대한 친화성(affinity)이 좋기 때문에[13] 비방사능 값이 어느 정도 떨어진 상태에서도 Binding Potential의 차이가 크지 않았지만 높은 비방사능에 비해 약 6.5배나 낮은 비방사능 값에서 부터는 이미지 및 Binding Potential차이가 유의하게 나왔다.

이전의 11C-Raclopride 실험과 유사하게[5][11] 비방사능 값이 떨어 질수록 PET영상에서나 Binding Potential에서 변화가 관찰되었다.

11C-Raclopride는 D2/D3수용체와의 친화성이 떨어지기 때문에 내생적도파민(endogenous dopamine)과 결합이 많이 일어나[14] 비방사능 값이 떨어 질수록

Binding Potential의 차이의 변화가 클 것으로 예상되어 지나 두 실험에서의 조건이 다르기 때문에 직접적으로 비교하기는 어렵다.

그리고 선행연구에서 진행된 11C-Raclopride에서는 매우 높은 비방사능 값($6,212$ GBq/ μ mol, 216 ± 65 GBq/ μ mol)을 이용하여 진행하였지만 본 연구에서는 선행연구에서 사용한 비방사능 값보다 낮은 값을 사용하였다.

추후 좀 더 넓은 범위의 비방사능 값을 가지는 18F-Fallypride 뿐만 아니라, 11C-Raclopride, 18F-FP-CIT 등 도파민 시스템 연구에 사용되는 리간드들의 종합적인 비교 분석 연구가 진행되어야 할 것이다.

V. 결론

PET을 이용한 파킨슨씨병 진단에 사용하는 방사성 의약품 중 D2/D3 수용체에 친화성이 높은 18F-Fallypride을 이용하여 비방사능이 PET영상이나 정량적인 Binding Potential 분석 시 어떠한 영향을 주는지에 대해 실험을 진행 하고자 세 가지 등급의 비방사능 값을 가지는 18F-Fallypride을 이용하여 총 10마리의 SD RAT을 가지고 PET 스캔을 실시 한 후 영상 및 Binding Potential을 비교 분석 한 결과는 다음과 같다.

1. PET이미지 비교 결과 높은 비방사능 값을 가지는 선조체 에서는 18F-Fallypride에 의해 D2/D3수용체의 방사능집적이 증가함을 보였고 반대로 낮은 비방사능 값에서는 높은 비방사능과 비교해 보았을 때 선조체 에서 낮은 방사능 집적을 볼 수 있었다.

2. 정량적인 Binding Potential분석 결과 높은 비방사능에서의 그 값은 12.5 ± 0.48 낮은 비방사능에서는 9.18 ± 0.37 로 두 등급에서의 비방사능 값에서 매우 유의한 차이를 볼 수 있었다($p < 0.01$). 또한 백분율 차이 비교에서도 높은 비방사능과 낮은 비방사능에서는 26.54%, 중간 비방사능과 낮은 비방사능 에서는 24.69%로 매우 유의한 차이가 나왔다($p < 0.01$). 하지만 높은 비방사능과 중간 비방사능에서는 큰 차이를 나타

나지 않았다.

이상의 결과를 놓고 볼 때 비방사능 값이 낮아지면 영상뿐만 아니라 Binding Potential에서의 차이를 볼 수 있었고, 이는 18F-Fallypride을 이용한 선조체 영상 연구뿐만 아니라 밀도나 농도가 낮은 뇌신경전달물질 연구에서도 비방사능 값을 고려하여 실험하여야 된다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Kim¹, J. S. Lee, K. C. Im, S. J. Kim, S. Y. Kim, D. S. Lee, and D. H. Moon, "Performance measurement of the microPET focus 120 scanner," *J Nucl Med*, Vol.48, No.9, pp.1527-1535, 2007.
- [2] 이원형, 정용안, "파킨슨병에서 18F-FDG PET의 임상이용", *Nucl Med Mol Imaging*, Vol.42, Supplement 1. 2008.
- [3] K. M. Kim, *Establishment of Parkinson's Disease Model with MPTP in the Cynomolgus Monkey (Macaca fascicularis)* [dissertation], University of Science and Technology, 2003.
- [4] A. L. Rominger, E. Wagner, E. Mille, G. Böning, M. Esmailzadeh, B. Wängler, F. J. Gildehaus, S. Nowak, A. Bruche, K. Tatsch, P. Bartenstein, and P. Cumming, "Endogenous competition against binding of [(18)F]DMFP and [(18)F]fallypride to dopamine D(2/3) receptors in brain of living mouse," *Synapse*, Vol.64, No.4, pp.313-322, 2010.
- [5] Y. L. Fujimura, H. Ito, H. Takahashi, F. Yasuno, Y. Ikoma, M. R. Zhang, S. Nanko, K. Suzuki, and T. Suhara, "Measurement of dopamine D2 receptors in living human brain using 11C-raclopride with ultra-high specific radioactivity," *Nucl Med Biol*, Vol.37, No.7, pp.831-835, 2010.
- [6] J. L. Mukherjee, Z. Y. Yang, M. K. Das, and T. Brown, "Fluorinated benzamide neuroleptics--III. Development of (S)-N-[(1-allyl-2-pyrrolidinyl)methyl]-5-(3-18F-fluoropropyl)-2, 3-dimethoxybenzamide as an improved dopamine D-2 receptor tracer," *Nucl Med Biol*, Vol.22, No.3, pp.283-296, 1995.
- [7] M. Slifstein, D. R. Hwang, Y. Huang, N. Guo, Y. Sudo, R. Narendran, P. Talbot, and M. Laruelle, "In vivo affinity of 18F-fallypride for striatal and extrastriatal dopamine D2 receptors in nonhuman primates," *Psychopharmacology (Berl)*, Vol.175 No.3, pp.274-286, 2004.
- [8] C. Köhler, H. Hall, S. O. Ogren, and L. Gawell, "Specific in vitro and in vivo binding of 3H-raclopride. A potent substituted benzamide drug with high affinity for dopamine D-2 receptors in the rat brain," *Biochem Pharmacol*, Vol.34, No.13, pp.2251-2259, 1985.
- [9] L. S. L. Kegeles, M. Slifstein, X. Xu, N. Urban, J. L. Thompson, T. Moadel, J. M. Harkavy-Friedman, R. Gil, M. Laruelle, and A. Abi-Dargham, "Striatal and extrastriatal dopamine D2/D3 receptors in schizophrenia evaluated with 18F-fallypride positron emission tomography," *Biol Psychiatry*, Vol.68, No.7, pp.634-641, 2010.
- [10] Mario Matarrese, Dmitri Soloviev, Sergio Todd e, Felice Neutro, Pasquale Petta, Assunta Carpinelli, Michael Brüssermann, and Marzia Galli Kienlecorrespondence Ferruccio Fazio., "Preparation of 11C- radioligands with high specific radioactivity on a commercial PET tracer synthesizer," *Nucl Med Biol*, Vol.30, No.1, pp.79-83, 2003.
- [11] J. L. Noguchi, M. R. Zhang, K. Yanamoto, R. Nakao, and K. Suzuki, "In vitro binding of [(11)C]raclopride with ultrahigh specific activity

in rat brain determined by homogenate assay and autoradiography," Nucl Med Biol, Vol.35, No.1, pp.19-27, 2008.

[12] 안성민, 홍태기, 함준철, 김성철, "진단용 방사성 의약품의 정도관리", 한국콘텐츠학회논문지, Vol.9, No.11, 2009.

[13] B. T. L. Christian, T. K. Narayanan, B. Shi, J. Mukherjee, "Quantitation of striatal and extrastriatal D-2 dopamine receptors using PET imaging of [(18)F]fallypride in nonhuman primates," Synapse, Vol.38, No.1, pp.71-79, 2000.

[14] K. L. Ishibashi, K. Ishii, K. Oda, H. Mizusawa, and K. Ishiwata, "Competition between 11C-ra clopride and endogenous dopamine in Parkinson 's disease," Nucl Med Commun, Vol.31, No.2, pp.159-166, 2010.

저 자 소 개

조 규 상(Kyu-Sang Cho)

정회원



- 2014년 8월 : 가천대학교 보건대학원 방사선학과(방사선학석사)
- 2011년 1월 ~ 2015년 1월 : 가천대학교 뇌과학연구원
- 2015년 1월 ~ 현재 : 핵광산업

<관심분야> : 핵의학, 방사선안전관리

안 성 민(Sung-Min Ahn)

정회원



- 2010년 2월 : 한서대학교 화학과(이학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 핵의학, 방사선관리