

Monte Carlo Method를 이용한
Finite Resolution 효과의 보정에 관한 연구

이태훈[○], 박응우, 이재성, 각철은, 이등수, 정준기, 이명철, 민병구*, 고창순

서울대학교병원 핵의학과, 의공학과*

A Study of Finite Resolution Effect Correction
Using Monte Carlo Method

Tae Hoon Lee[○], Yongwoo Park, Jae Sung Lee, Cheoleun Kwark, Dong Soo Lee,
June-Key Chung, Myung Chul Lee, Byoung Goo Min*, Chang-Soon Koh

Department of Nuclear Medicine and Biomedical Engineering*, Seoul National University Hospital

1. 서론

양전자 단층촬영(positron emission tomography ; PET)을 이용한 혈류예측 및 대사동태분석은 기기적인 특성의 한계로 인하여 여러종류의 오차를 포함한다. 그중 유한분해능 효과(finite resolution effect ; FRE)에 의한 부분체적효과(partial volume effect)와 방사능 흘러넘침(spill-over)이 중요하다. 심실과 심근의 영상방사능계수와 실제방사능계수사이에는 다음과 같은 관계가 성립하는 것이 알려져 있다.

$$C_{ib} = F_{bb} C_b + F_{bm} C_m$$

$$C_{im} = F_{mm} C_m + F_{mb} C_b$$

C_b : 심실의 실제방사능 계수

C_m : 심근의 실제방사능 계수

C_{ib} : 심실의 영상방사능 계수

C_{im} : 심근의 영상방사능 계수

F_{bb}, F_{mm} : 심실과 심근의 보정 계수

F_{bm}, F_{mb} : 심근에서 심실로, 심실에서 심근으로 유

입된 방사능 흘러넘침계수

부분체적효과를 보정하는 방법으로 Deconvolution 하는 방법이 있으나, 부분체적효과와 방사능 흘러넘침을 모두 보정할수 있는 Monte Carlo Method가 새로이 시도 되고 있다.

2. 연구목적

본 연구에서는 유한분해능효과에 의한 부분체적효과(partial volume effect)와 방사능 흘러넘침(spill-over)을 모의실험으로 분석하고, 모델분석에 반영할수 있는 방법을 연구하였다. 이러한 오차는 측정값과 예측모델의 정확도에 영향을 미치는 중요한 요인으로, 이를 보정하기 위해 본 연구에서는 Monte Carlo Method를 이용한 부분체적효과와 방사능 흘러넘침 보정계수를 구하여보았고, 부분체적효과와 방사

능 흘러넘침을 보정하기 전과 후의 혈류예측모델 적용의 결과를 비교, 분석하여 보았다.

3. 연구방법

부분체적효과와 인접한방사선원간의 방사능 흘러넘침을 보정하는 계수를 결정하기위해 다음과 같이 Monte Carlo Method에 의한 모의실험을 시행하였다.

1. Rb-82 dynamic 심근 PET 영상으로부터 심실과 심근의 윤곽선을 모든 방사능이 심근에 집중하였을 때 최고방사능 계수의 50%를 기준으로 얻었다.

2. 심실과 심근의 윤곽선으로부터 무작위로 심실과 심근 각각에 대해 완전히 균일한 방사능 분포를 가진 영상과 이 영상에 대응하는 유한분해능효과에 의한 오차를 갖는 영상들을 얻었다. 이때 후자의 두가지 영상들은 FWHM이 5.2 mm 인 기기의 특성과 PET 영상평면에서 방사능이 bigaussian 분포를 갖는점을 고려하여 얻은 Monte Carlo 영상이다.

3. Dynamic PET 영상에서 결정된 국소관심영역을 위에서 얻어낸 심실과 심근의 Monte Carlo 영상들에 투영하였다. 균일한 방사능분포를 가진영상과 이에 대응하는 유한분해능효과 오차를 가진 영상에서의 관심영역을 비교함으로써 국소 부분체적효과와 방사능 흘러넘침 보정계수를 구하였다.

4. 보정계수의 정확도를 평가하기위해 모의실험에서 얻은 유한분해능효과 오차를 가진 영상들을 Monte Carlo 모의실험을 통해 얻은 보정계수를 사용하여 유한분해능효과오차가 없는 영상으로 회복시켜보았다.

5. 심실로부터 FWHM의 정수배의 거리의 국소관심영역에서 방사능 흘러넘침 보정계수를 구하여, 심실부근 흘러넘침효과의 범위를 알아보았다.

6. 혈류의 예측 및 대사율측정에는 국소관심영역의 시간방사능 곡선이 이용되는데, 모의실험을 통해 얻은 보정계수 $F_{mm}, F_{bb}, F_{bm}, F_{mb}$ 를 사용하여, 심실의 시간에 따른 방사능

계수 변화인 입력함수(input function)와 심근의 시간에 따른 방사능 계수변화인 조직함수(tissue function)를 보정하고, Patlak에 의한 심근혈류예측모델인 적선회귀 방법에 적용한후, 보정하기 전의 결과와 비교하여 보았다.

4. 결과

Monte Carlo Method로 얻은 유한분해능효과 보정계수들을 이용하여 회복시킨 모의실험 영상들은 2% 오차범위내에서 오차가없는 본래의 영상의 방사능값을 회복하였으며, 심근에서 심실로의 방사능 흘러넘침계수 F_{mb} 은 0.2% - 1.7% 정도의 극미한 값을 나타낸 반면, F_{mb} 는 심실과 FWHM의 3, 4배 간격을 갖는 국소관심영역에서 보정을 필요로 하는 범위의 40% 정도의 방사능 흘러넘침을 나타내었다.

$$y = C_1 e^{(-\lambda_1 t)} + C_2 e^{(-\lambda_2 t)}$$

혈류예측모델에서 사용될 입력함수와 조직함수는 그림2에서 보인 바와같이 인바와 같이 C 값이 보정되었고, 보정된 함수를 사용한 Patlak에 의한 혈류예측모델에서 좀더 안정적인 혈류예측이 가능 하였다.

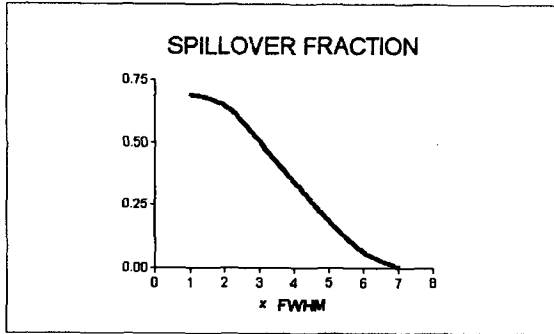


Fig.1 Spill-over fraction of circular regions of interest in myocardium (F_{mb})

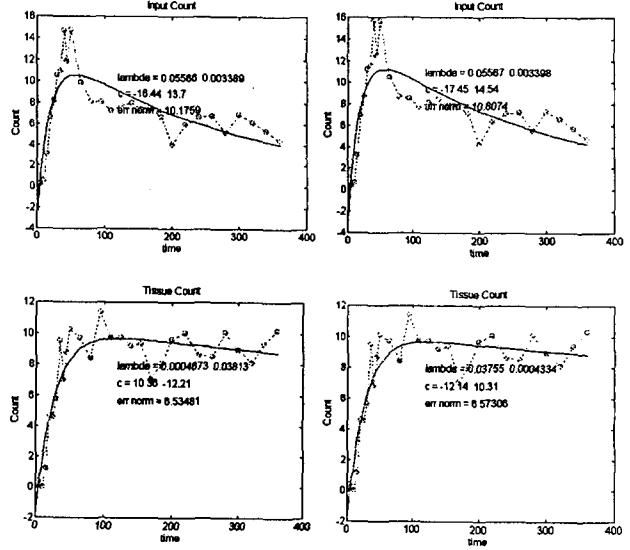


Fig2. Measured data and corrected data

5. 결론

Monte Carlo Method를 이용하여 얻은, 부분체적효과와 방사능 흘러넘침을 보정하는 계수들을 사용하여 입력함수와 조직함수를 보정하였을 때 보정하기 전에 비해 안정적으로 모델변수를 예측할수 있는 가능성을 확인 하였으며, 유한분해능효과를 보정하는 방법으로 Monte Carlo Method가 사용될 수 있음을 알았다. 이번모의실험에서는 심근벽운동(myocardial wall motion)이 고려되지 않았으나, 심근벽운동은 심실과 심근 윤곽선의 geometric dimension의 주요 결정요소이므로, 심근벽운동에 의한 방사능 흘러넘침은 정확한 보정이 필요하다 하겠다.