

‘98 추계학술대회 논문집
한국원자력학회

전처리 필터가 동적 SPECT 정량화에 미치는 영향

Effect of Pre-Filtering on the Quantification of Dynamic SPECT

이재성, 김경민, 안지영, 곽철은, 이동수, 정준기, 이명철, 박광석

서울대학교 의과대학 핵의학교실, 방사선의학연구소, 의공학교실
서울특별시 종로구 연건동 28, 140-190

요약

신호 대 잡음비가 낮은 동적 SPECT 영상에서 전처리 필터로 처리하지 않고 역투사 방법으로 단층상을 재구성하는 경우 고주파 성분이 강조되어 계수율이 달라질 수 있다. 이 연구에서는 모형 실험을 통하여 이러한 전처리 필터 처리 여부가 단층상의 계수율에 미치는 영향을 입증하고 정상인과 뇌질환 환자의 동적 뇌영상 처리 결과에 미치는 영향을 알아보았다.

Abstract

In dynamic SPECT study, backprojection without pre-filtering could give rise to the inconsistent count rates which are variable according to the signal-to-noise ratio of projection image. We evaluated the count rate inconsistency using phantom experiment under the dynamic SPECT protocol, and investigated the effect of this inconsistency on the quantitation of dynamic brain SPECT.

1. 서론

감마선을 방출하는 방사선 동위원소를 이용하는 의학 영상 기법인 단일광자단층촬영술 (single photon emission computed tomography: SPECT)을 이용하여 뇌관류(brain

perfusion)나 각종 수용체에 대한 결합물질(ligand)의 시간에 따른 동적 분포 변화를 관찰하고 이로부터 병리적인 변화를 적절히 기술할 수 있는 정량적 파라미터들을 추출하고자 하는 시도가 증가하고 있다.

기존의 정적 영상(static image)에서 중요하게 고려하지 않았던 요소들이 이러한 동적 영상(dynamic image)을 이용한 정량화에 영향을 줄 수 있다. 특히 SPECT 감마카메라의 검출효율과 재구성한 영상의 계수 분포 특성이 신호 특성에 관계없이 일정한 범위 내에서는 항상 균일해야 한다. 동적 영상을 얻을 때 감마카메라의 검출효율 감소 문제는 같은 양의 방사선 동위원소와 주입 방식을 사용하는 경우 정적 영상과 동일하다. 반면 재구성 방법에 따른 계수율 변화는 중요한 고려 대상이다. 즉, 역투사(backprojection) 방법으로 재구성 영상을 구성하는 경우 영상의 퍼짐을 방지하기 위하여 인위적으로 고주파 성분을 강조하기 때문에 짧은 시간동안 영상을 얻는 동적 영상의 경우 배경 잡음(background noise)에 의한 고주파 성분을 상대적으로 많이 포함하게 되고 이 고주파 성분이 역투사 과정에서 강조되어 전체 계수율이 높아질 수 있다. 이러한 오류를 방지하기 위해서는 저주파 통과 전처리 필터(low-pass pre-filter)로 역투사 전에 고주파 성분을 제거해주어야 한다. 그러나, 실제 임상 환경에서는 정적 영상의 경우 작업 시간을 줄이고 영상의 지나친 퍼짐 효과(blurring)를 방지하기 위하여 전처리 필터 없이 후처리 필터만을 사용하는 방식을 채택하는 경우가 있다. 이 연구에서는 도파민 수용체의 신경전달체(neuro-transporter) 분포 양상을 관찰하기 위한 I-123 β -CIT 동적 영상과 뇌관류비축능을 평가하기 위한 기저/디아목스(Diamox) Tc-99m-HMPAO 영상에 대한 모형 실험과 실제 임상 데이터 분석을 통해 전처리 필터가 동적 영상 정량화에 미치는 영향을 실험적 방법으로 규명하였다.

2. 연구 대상 및 방법

I-123 β -CIT 동적 영상

1) 모형 실험

SPECT 영상은 포아송 분포(Poisson distribution)를 따르므로 배경 잡음은 계수량의 제곱근(root)에 비례한다. 따라서 계수량이 적을수록 신호 대 잡음비가 작아진다. 감마카

메라의 계수량은 영상 획득 시간에 비례하므로 영상 획득 시간을 변화시켜 가며 모형 영상을 얻고 전처리 필터로 처리한 경우와 처리하지 않은 경우에 대해 계수율 변화를 측정하였다.

물을 채운 6100 cc 제이작 모형에 2mCi I-123(반감기: 13.2 시간)을 잘 섞고 2중 헤드 SPECT 카메라(Prism2000, Picker)로 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40분 영상을 얻었다. 전처리 필터는 Butterworth(차단 주파수: 0.4, 차수: 7.0) 저주파 통과 필터를 사용하였으며 역투사 방법으로 재구성하였다. 감쇠 보정 후에 원형 관심 영역을 그려 계수율을 측정하였다.

2) 환자 데이터 분석

전처리 필터가 실제 환자의 동적 영상 정량화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1명의 파킨슨씨병 환자에 대하여 도파민 수용체의 신경전달체에 특이적으로 결합하는 I-123 β -CIT 10 mCi를 순간 주사하고 총 31 프레임(주사 직후 3분×10번, 6분×10번; 주사 후 2, 3 시간에 각각 6분×4번; 주사 후 18, 21, 24 시간에 각각 40분×1번)의 동적 영상을 모형 실험과 동일한 2중 헤드 SPECT 카메라로 얻었다. 영상 재구성은 모형 실험과 같은 방식으로 하였다.

재구성된 횡단면 상에서 양쪽 선조체(striatum)와 후두엽(occipital cortex)에 원형 관심 영역을 그려 각각 특이결합과 비특이결합에 해당하는 시간-방사능 곡선(time-activity curve)을 얻었다.

기저/디아목스 Tc-99m-HMPAO 영상

1) 모형 실험

원통형 모형에 6525 cc의 물을 채우고 디아목스부하후 영상에 해당하는 Tc-99m 11.3mCi(1.73mCi/l×6.525l)를 포함하기 위하여 최초 촬영시 Tc-99m 12mCi를 넣어 충분히 섞었다. 최초 촬영 후 2, 3, 6시간 간격으로 15분간 10회 촬영하여 0.2mCi부터 12mCi 까지 모형 영상을 얻었다. 모형 실험에서 얻은 영상에서 계수 분포가 가장 균일한 단면에 원형 관심영역을 그려서 총 계수를 구하였다.

차단 주파수를 0.25, 0.35, 0.40으로 바뀌가면서 전처리 필터로 처리한 영상과 전처리 필터 처리를 안한 영상을 비교하였다.

2) 실제 데이터 분석

실제 정상인과 뇌질환 환자의 기저/디아목스 SPECT에서 디아목스부하후 영상과 기저 영상의 비가 전처리 필터 처리 여부에 따라서 차이 나는가를 알아보았다. 2명의 정상인과 2명의 알츠하이머형 치매 환자의 Tc-99m-HMPAO SPECT를 차단 주파수를 0.25, 0.30, 0.35, 0.40으로 바꿔가면서 전처리 필터 처리하거나 전처리 필터 처리를 안하고 재구성하였다. 각 대상의 영상에서 전뇌동맥 영역에 2개, 중뇌동맥과 후뇌동맥 영역에 각각 4개씩 관심영역을 그린 후 각 영역의 디아목스부하후 대 기저 비를 구하였다. 각 영상들에서 얻은 디아목스부하후 대 기저 비가 통계적으로 유의하게 차이가 나는가 여부를 알아보기 위하여 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 하였으며 어느 영상이 차이를 보이는가를 알아보기 위한 반복 비교(multiple comparison) 방법으로 Tukey법을 사용하였다.

3. 결과

I-123 β-CIT 동적 영상

1) 모형 실험

그림 1은 I-123 모형 실험 결과를 보여주고 있다. 전처리 필터를 한 경우에는 획득 시간에 상관없이 일정한 계수율(count/pixel/minute)을 보이나 전처리 필터를 안한 경우에는 획득 시간이 짧아서 신호 대 잡음비가 낮을수록 계수율이 기하 급수적으로 커지는 것을 알 수 있다.

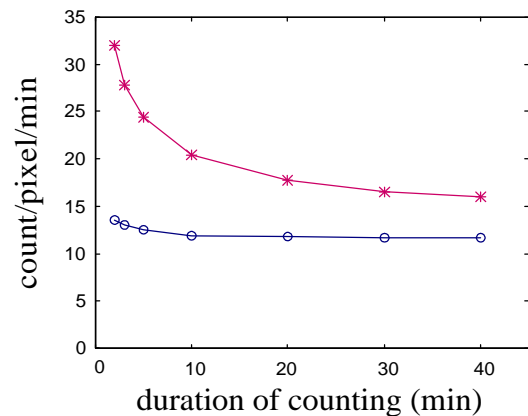


그림 1. I-123 모형 실험에서 영상 획득 시간에 따른 계수율 변화
-※- : 전처리 필터 안한 경우
-○- : 전처리 필터 한 경우

2) 환자 데이터 분석

그림 2는 환자 영상의 선조체와 후두엽에

서 추출한 시간-방사능 곡선으로 전처리 필터를 안 한 경우 획득 시간이 짧아 신호 대 잡음비가 낮은 초기 부분이 전처리 필터를 한 경우에 비하여 강조되어 보이는 것을 알 수 있다.

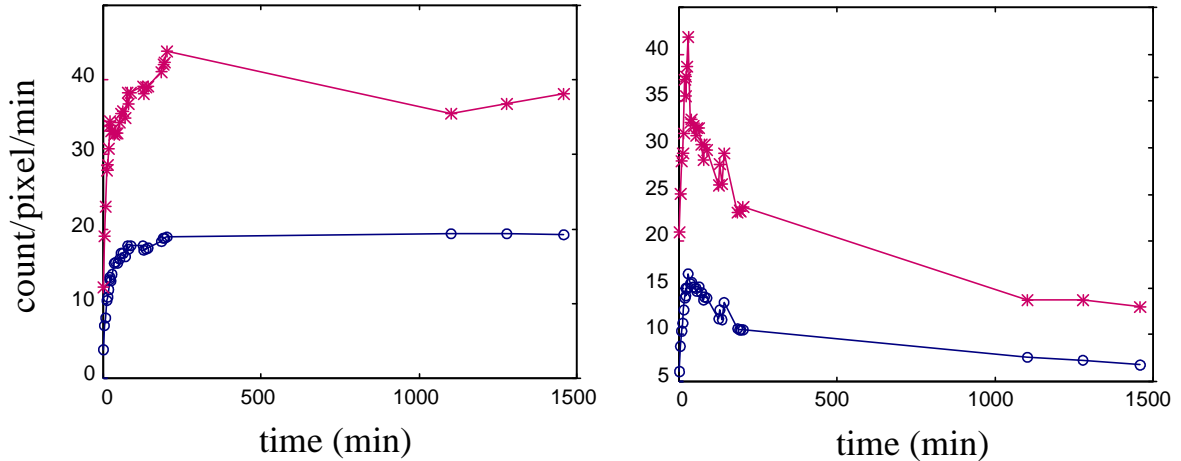


그림 2. 파킨슨씨병 환자의 I-123 β -CIT 동적 영상에서 추출한 선조체(왼쪽)와 후두엽(오른쪽)의 시간-방사능 곡선
 -※-: 전처리 필터 안한 경우, -○-: 전처리 필터 한 경우

기저/디아폭스 Tc-99m-HMPAO 영상

1) 모형 실험

그림 3은 Tc-99m에 대한 모형 실험 결과를 보여주고 있다. 방사능이 적어 신호 대 잡음비가 낮은 경우 I-123에 대한 실험 결과와 마찬가지로 전처리 필터를 안 하면 계수율이 지나치게 강조되는 것을 알 수 있다. 반면 전처리 필터를 한 경우 방사능이 극단적으로 낮은 경우를 제외하고는 차단 주파수에 상

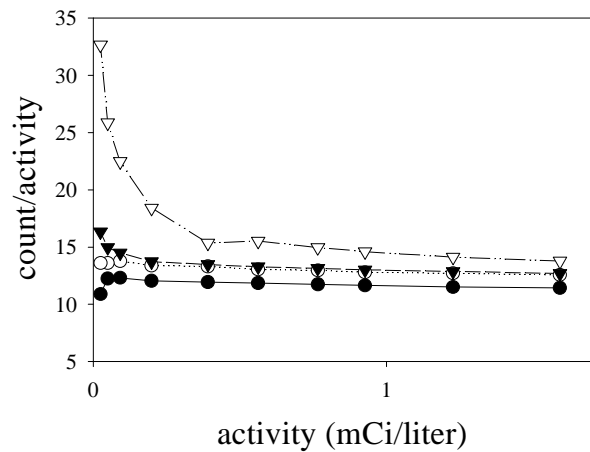


그림 3. Tc-99m 모형 실험에서 방사능에 따른 계수율(count/pixel/minute/mCi/liter) 변화
 -●-: 전처리 필터(차단주파수=0.25) 한 경우
 -○-: 전처리 필터(차단주파수=0.35) 한 경우
 -▼-: 전처리 필터(차단주파수=0.40) 한 경우
 -▽-: 전처리 필터 안한 경우

관없이 일정한 계수율을 보이는 것을 알 수 있다.

2) 실제 데이터 분석

그림 4는 두명의 정상인과 두명의 알츠하이머형 치매 환자에 대한 디아목스부하후와 기저 영상에서 추출한 10개 영역의 계수 비 분포를 전처리 필터 여부에 따라 나타내고 있다. 각 대상에서 왼쪽 4개의 그래프는 차단 주파수를 0.25~0.40으로 달리해가며 전처리 필터를 한 경우고 가장 오른쪽 그래프는 전처리 필터를 하지 않은 경우다. 그래프 상에서 전처리 필터를 하지 않은 경우 디아목스부하후 대 기저 비가 감소하는 것을 알 수 있다. 분산분석 결과 모든 대상에서 전처리 필터를 하지 않은 경우 나머지 경우와 유의하게 차이가 나며 전처리 필터를 한 경우에는 차단 주파수에 따라 차이가 나지 않는다는 결과를 얻었다. 분산분석에서 모든 경우의 평균이 같지 않음을 기각한 유의수준 (p-value)은 각각 0.0001, 0.0001, 0.0014, 0.0003이었다.

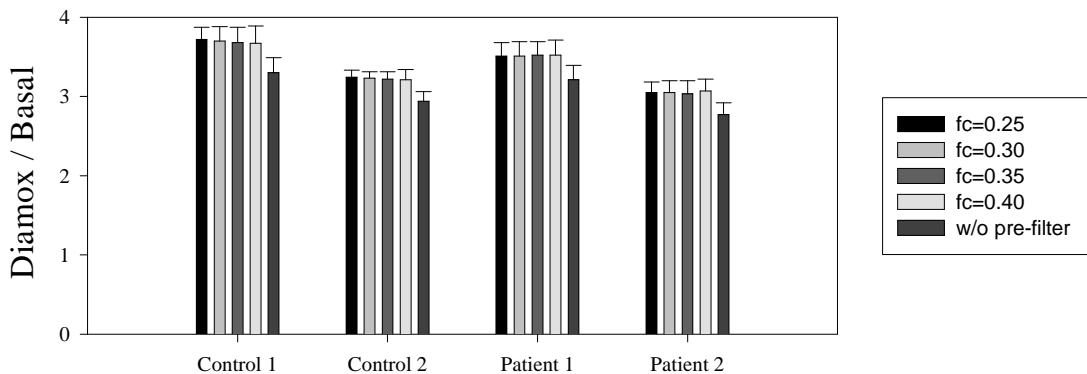


그림 4. 각 대상에 대한 Tc-99m-HMPAO 디아목스부하후 대 기저 영상의 비

4. 결론

동적 SPECT 영상을 전처리 필터로 처리하지 않고 역투사 방법으로 재구성하는 경우 신호 대 잡음비를 결정하는 계수량에 따라 재구성한 영상의 계수율이 일정하지 않음을 모형 실험을 통하여 알 수 있었으며 동적 영상에서 추출한 시간-방사능 곡선의 전체적인 형태와 이를 이용한 정량적 지표들이 달라질 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 오류를 제거하기 위해서는 동적 영상 처리에 있어 전처리 필터를 반드시 사용해야겠다.

5. 참고 문헌

- 1) K Murase, S Tanada, H Fujita, S Sakaki, K Hamamoto; Kinetic behavior of Technetium-99m-HMAPO in the human brain and quantification of cerebral blood flow using dynamic SPECT. *J Nucl Med* 33:135-143, 1992
- 2) M Laruelle, E Wallace, JP Seibyl, RM Baldwin, Y Zea-Ponce, SS Zoghbi, JL Neumeyer, DS Charney, PB Hoffer, RB Innis; Graphical, kinetic, and equilibrium analyses of in vivo [¹²³I]β-CIT binding to dopamine transporters in healthy human subjects. *J Cereb Blood Flow Metab* 14:982-994, 1994
- 3) JS Lee, KM Kim, C Kwark, KS Park, DS Lee, J-K Chung, MC Lee, C-S Koh; A study of the count rate inconsistency of backprojection reconstruction without pre-filtering: effect on the quantitation using fast dynamic SPECT. *Eur J Nucl Med* 24:1037, 1997
- 4) 이재성, 곽철은, 박광석, 이동수, 정준기, 이명철, 고창순; 뇌혈류 SPECT에서 감마카메라 불응시간 보정과 정규화감산영상을 이용한 뇌혈류 비측능의 정량화. *대한의용생체공학회지* 17:443-448, 1996
- 5) 이동수, 이태훈, 김경민, 정준기, 이명철, 고창순; 기저/아세타졸아마이드 부하 연속 촬영 뇌관류 SPECT 최적화. *대한핵의학회지* 31:330-338, 1997
- 6) Z-H Cho, JP Jones, M Singh; Foundation of medical imaging, New York, John Wiley & Sons, Inc. 79-88, 1993