

Original Article

감마 카메라의 Flood Table에 대한 이해와 적절한 이용

서울대학교병원 핵의학과
김재일 · 임정진 · 김진의 · 김현주

Comprehension and Appropriate Use of a Flood Table on a Gamma Camera

Jae Il Kim, Jeong Jin Im, Jin Eui Kim, and Hyun Joo Kim
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Background and Purpose: Uniformity is the one of the important quality control features with respect to gamma cameras. To maintain adequate uniformity, we must acquire suitable flood table (= flood map) data because the flood table effects energy, and the type or dose of input radiation. Therefore, in this study we evaluated the difference in uniformity when uniformity does not match between the type of input radiation and the flood table data or collimator type. **Subjects and Methods:** For input radiation, we prepared 370 MBq of ^{57}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, and ^{201}Tl . Using SKYLight (Philips) and Infinia gamma cameras (GE), we acquired nine uniformity data that were corrected by technetium, cobalt flood table and did not corrected image for the three sources. Additionally, we acquired two uniformity images with a collimator that were corrected by intrinsic and extrinsic flood tables. Using this data, we evaluated and compared the uniformity values. **Results:** In the case of the SKYLight gamma camera, the uniformities of the images that matched between the input radiation and flood table with respect to $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{57}Co were better than the unmatched uniformity (3.96% vs. 5.69% ; 4.9% vs. 5.91%). However, because there was no thallium flood table, the uniformities of images at Tl were significantly incorrect (7.49%, 7.03%). The uniformities of the Infinia gamma camera had the same pattern as the SKYLight gamma camera (3.7% vs. 4.5%). Moreover, the uniformity of the $^{99\text{m}}\text{Tc}$ image acquired with a collimator and corrected by an extrinsic flood table was better than the intrinsic flood table (3.96% vs. 6.28%). **Conclusion:** Correcting an image by a suitable flood table can help achieve better uniformity for a gamma camera. Therefore, we have to acquire images with suitable uniformity correction, and update the flood table periodically. Whenever we acquire a nuclear medicine image, we always have to check the appropriate flood table according to the acquired condition. (**Korean J Nucl Med Technol 2011;15(1):29-33**)

Key Words : uniformity, flood table, gamma camera

서 론

감마 카메라의 영상의 질을 우수하게 하기 위해서는 다양한 교정 및 보정을 해주어야 한다.

일반적으로 시행되는 보정법에는, 전기적 신호의 출력을 결정하는 Autogain, 입사된 감마선의 에너지 분포를 실제

동위원소에서 방출되는 에너지 영역으로 맞추어 주는 spectrum 분석, 공간 분해능을 좋게 하기 위한 peak energy 분석, 선 선원에 대해 정확히 직선으로 표현시켜 주는 linearity, 그리고 균일성을 좋게 해주는 flood table 교정 등이 있다.

이 같이 여러 성능 평가 항목 중, 균일성 평가란 검출기의 입사면 전체에 균일하게 분포되어 있는 면선원을 검출 하였을 때, 검출기에서 발생된 전기적 신호 역시 얼마나 균일하게 나타내어 주는가를 평가하는 항목이다.

현재의 감마 카메라처럼 감마선을 가시광선으로 바꾸주는 섬광체가 있고, 그 뒤편에 발생된 가시광선을 전기적 신

• Received: December 30, 2010. Accepted: March 3, 2011.
• Corresponding author: **Jae Il Kim**
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital 101
Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-2535, Fax: +82-2-766-9083
E-mail: koogimena@snuh.org

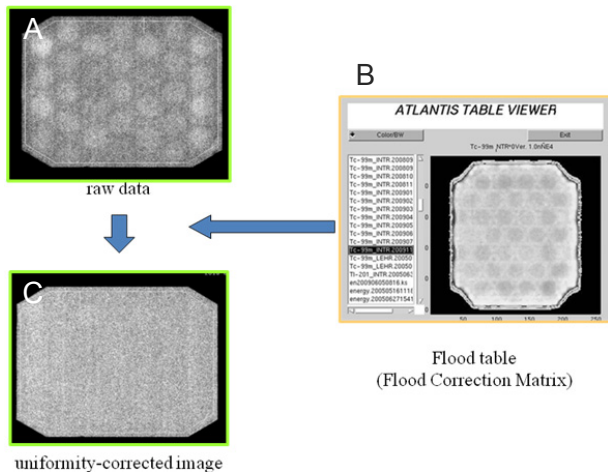


Fig. 1. A circular PMT array behind crystal. So, a signal increases at PMT attached place, otherwise decrease at no PMT (A). For correcting the non-uniformity likely this, we make the flood table (flood map) and apply it as correction fact (B). Therefore we can acquire a uniform image (C).

호로 바뀌주는 광전자 증배관이 붙어 있는 앵거 타입의 검출기의 경우는 구조적으로 광전자 증배관이 직접 붙어있는 부분과 광전자 증배관 사이 사이의 빈 공간이 있는 부분과의 검출효율은 차이가 나게 된다. 즉, 광전자 증배관이 밀착되어 있는 부분은 감도가 높아지고, 그 틈새에는 감도가 떨어진다. 그래서 이 차이를 flood table 을 만들어 주어 균일성을 보정해주게 된다.

Flood table 을 만들기 위해서는 픽셀간 통계적 차이를 1% 미만으로 최소화하기 위해 픽셀 당 60k 이상의 계수를 획득하게 하고, 전체 픽셀을 균일화해 주기 위해 1의 역수화 시켜준다.

이렇게 형성된 flood table 은 핵의학 검사에 이용되는 방사선원의 종류 따라 혹은, 시스템의 구성에 따라 각각의 상황 별로 따로 저장되어 있어야만 한다. 그래야만 불균일하게 변환된 전기적 신호(Fig. 1. A)를 입상으로 이용 시, 방사선원 및 검출기의 상태를 고려한 정확한 보정이 이루어지게 되는 것이다(Fig. 1. C).

그런데 이 같은 균일성 보정 시, 방사선원의 종류에 대해 반드시 고려해야 하는 이유는 감마선과 물질, 특히 섬광체와의 상호 작용에 있어 감마선의 에너지에 절대적으로 영향을 미치기 때문이다.

영상 핵의학과에서 쓰이는 500 keV이하 감마선은 물질과의 상호작용 중, 주로 광전 흡수와 컴퓨터 산란이 주로 일어나게 되는데, 광전 흡수는 입사 감마선의 양적인 변화(전흡수)에 우선 영향을 미치고, 컴퓨터 산란은 입사 감마선의 질

적 변화(에너지 이동에 의한 산란선)에 우선적인 영향을 미친다.

그리고 입사 감마선의 에너지가 커지게 되면 광전 흡수는 감소하게 되고, 컴퓨터 산란은 증가하게 된다. 즉 에너지에 따른 검출기의 감도 및 효율이 변화하게 되는 것이다.

그래서 140 keV를 방출하는 ^{99m}Tc로 획득한 flood table과 122 keV를 방출하는 ⁵⁷Co의 flood table은 차이가 나게 마련이다. 물론 73 keV와 160 keV 두 가지 에너지를 방출하는 ²⁰¹Tl의 경우는 더 큰 차이가 난다.

이와 더불어 섬광체에 입사하는 감마선의 선질과 선량에 영향을 미치는 게 콜리메이터이다. 콜리메이터를 제거하고 획득한 intrinsic flood table과 콜리메이터를 장착하고 획득한 extrinsic flood table과는 엄연한 차이가 난다. 물론 콜리메이터의 기하학적 홀의 형태나, 에너지 선별을 위한 격벽의 두께에 따른 변화에도 flood table은 영향을 미치게 된다.

그래서 본 논문에서는 입사된 방사선원의 종류 및 flood table의 종류, 그리고 콜리메이터의 유무에 따른 균일성의 변화를 알아보고, 그것의 중요성에 대하여 생각해보고 한다.

재료 및 방법

1. 입사 방사선 및 팬텀

입사된 방사선의 종류는 3가지로 선택하였다. 140 keV의 감마선을 방출하는 ^{99m}Tc, 122 keV의 감마선을 방출하는 ⁵⁷Co, 73 keV와 160 keV의 감마선을 동시에 방출하는 ²⁰¹Tl을 사용하였다.

이 중 ^{99m}Tc와 ²⁰¹Tl은 액체 상태이어서 flood 팬텀에 증류수를 넣고 각각 370 MBq를 혼합하였고, 균일하게 분포할 수 있도록 10분 정도 흔들어 주었다. ⁵⁷Co의 경우는 고체 상태의 평판 선원으로 감쇄를 고려하여 370 MBq임을 확인하였다(Fig. 2).

2. 감마 카메라

GE사의 Infinia™와 Philips사의 SKYLIGHT 감마 카메라를 사용하게 되었는데 이 두 기종은 획득된 감마선 영상에 대해 균일성 보정 시, 사용되는 flood table, flood map을 사용자가 직접 선택할 수 있는 기능이 있어 사용하게 되었다.

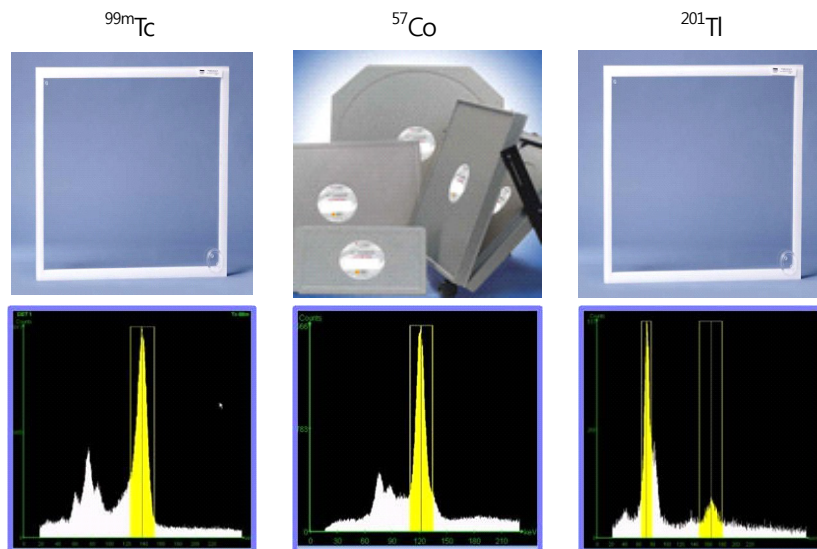


Fig. 2. ^{99m}Tc , ^{201}Tl are liquid, and ^{57}Co is solid source. According the type of emission radiation at each source, the spectrum acquire at scintillation have a characteristic shape. As shown each spectrum, we can find deferance of low-energy region happened mostly the compton scatter effect.

3. 방법

3-1. SKYLight 사용 : 준비된 ^{99m}Tc flood 팬텀 선원을 저 에너지 고해상도 콜리메이터(low energy high resolution) 위에 FOV를 충분히 덮을 정도로 올려 둔다. 그리고 아래의 조건으로 영상을 획득하였다.

- flood type : none
- collimator type : LEHR
- zoom : 1 (full field)
- matrix : 512×512
- total count : 20 Mcount

^{57}Co , ^{201}Tl 선원에 대해서도 똑같은 조건으로 데이터를 받고, 획득된 3개의 영상에 대해 JETStream 프로그램에서 적분 균일도(%)를 측정하였다.

동일한 방법으로 flood type을 Co-57_LEHR, Tc-99m_LEHR로 바꾸어 ^{99m}Tc , ^{57}Co , ^{201}Tl 선원에 대해 영상을 얻고 균일도를 측정하였고, 각각의 값들을 서로 비교해 보았다.

추가적으로 ^{99m}Tc 선원을 올려 놓고, flood table을 Tc-99m_INTR(내인성 교정) 설정 후, 균일성을 측정 하여, Tc-99m_LEHR로 교정한 영상의 균일도와 비교해 보았다.

균일성 평가를 위해 Philips의 영상 처리 프로그램인 JETStream 을 사용하였다.

3-2. Infinia 사용시 : ^{57}Co 선원을 사용하여, 아래와 같은

조건처럼 uniformity map을 3가지 형태로 설정하여 영상을 획득하고, 균일도를 평가하였다.

- uniformity map : none, Tc, Co
- collimator type : LEHR
- zoom : 1 (full field)
- matrix : 512×512
- total count : 20 Mcount

동일한 방법으로 ^{99m}Tc 선원에 대해서도 영상을 획득하였고, uniformity map 을 Tc-intrinsic, Tc-extrinsic 을 선택하여, 균일도를 평가하고, 서로 비교하였다.

균일성 평가는 Infinia Acq 프로그램을 사용하였다.

결 과

1. SKYLight 경우(Table 1)

1-1. ^{99m}Tc 선원을 사용하여, Tc-99m의 flood table로 균일성을 보정한 경우, 균일도가 3.96% 나왔다. 하지만, Co-57 flood table로 한 경우 5.69%가 나왔으며, 균일성 보정을 하지 않았을 경우는 9.67%가 나왔다. 즉 균일성을 보정하지 않았을 경우, 144%나 증가 되었으며, 다른 종류의 방사선으로 형성한 flood table로 보정을 한 경우 43%나 증가 됨을 알 수 있다.

Table 1. Integral uniformity about each source according to change flood table

| Flood Table | Input radiation | | | |
|----------------|-----------------|------------------|-------|----------------|
| | 99mTc | 57Co | 201Tl | 57Co (infinia) |
| Co-57 | 5.69 (+43%) | 4.9 | 7.49 | 3.7 |
| Tc-99m | 3.96 | 5.91 (+20.1%) | 7.03 | 4.5 (+21%) |
| non-correction | 9.67 (+144%) | 9.34 (+91%) | 9.81 | 7.3 (+97%) |

Table 2. Difference of uniformities corrected by intrinsic flood table and extrinsic one using same collimator and source

| | Tc-99m Intrinsic flood table | Tc-99m Extrinsic flood table |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|
| SKYLight | 6.28 (+58%) | 3.96 |
| Infinia | 5.4 (+97%) | 2.73 |

1-2. ⁵⁷Co 선원을 사용하여 Co-57 flood table로 보정을 한 경우, 균일도가 4.9% 나왔다. 동일한 선원으로 Tc-99m flood table로 보정을 한 경우 5.91% 나왔으며, 균일성 보정을 하지 않은 경우는 9.34% 나왔다. 즉, 입사된 방사선과 동일한 에너지로 보정이 된 경우에 비해 그렇지 못한 경우는 20.1% 높게 나타났으며, 보정을 하지 않았을 경우는 91%나 높게 나타났다.

1-3. ²⁰¹Tl 선원을 사용하였을 때는, SKYLight 장비 내에 Thallium으로 형성한 flood table이 존재 하지 않아, 적절한 균일성 보정은 이루어 지지 않았다. 왜냐하면 ²⁰¹Tl 선원을 가지 검사를 하는 핵의학과 검사는 Myocardial SPECT인데, 이 장비로는 심근 검사를 하지 않아 flood table도 필요 없기 때문이다. 그래서 Co-57 flood table로 보정을 한 경우 균일도가 7.49%, Tc-99m flood table로 보정한 경우 균일도가 7.03%로 전반적으로 높게 나타났다. 물론 보정을 하지 않은 경우는 9.81%로 더 높게 나타났다.

2. Infinia 경우(Table 1)

⁵⁷Co 선원만 사용하였는데, Co-57 flood table로 균일성 보정을 하니 3.7% 나왔다. 그리고 Tc-99m flood table로 보정한 경우 4.5%가 나왔고, 보정을 하지 않았을 경우는 7.3% 나왔다. 즉, 적절한 보정이 이루어진 것에 비해, 적절치 않은 보정이 이루어진 경우는 21% 증가하였고, 보정을 하지 않은 경우는 97%나 증가하였다. 이 수치는 이전의

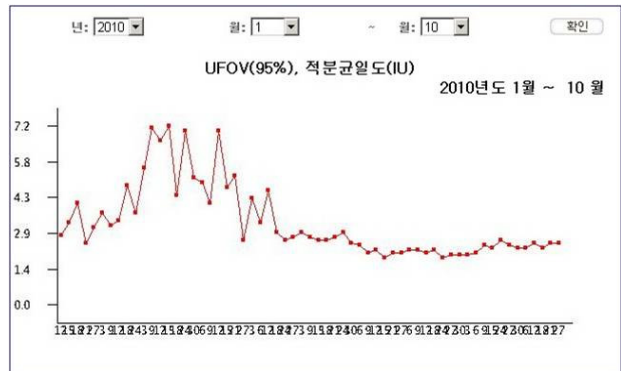


Fig. 3. By using suitable flood table that can apply the system characteristic, the uniformity of gamma camera will become better.

SKYLight에서 ⁵⁷Co 선원으로 실험한 경우와 비슷한 양상이었다.

3. Intrinsic flood table과 비교(Table 2).

3-1. 콜리메이터가 장착 된 SKYLight 장비로 ^{99m}Tc 선원에 대한 영상을 획득한 후, intrinsic flood table로 균일성을 보정한 경우, 6.28% 나왔다. 이전 실험(1-1)에서 나온 수치(3.96%)에 비해 58% 증가하였다.

3-2. 콜리메이터가 장착 된 Infinia 장비로 ^{99m}Tc 선원에 대한 영상을 획득한 후, intrinsic flood table로 균일성을 보정한 경우, 5.40% 나왔다. 이전 실험(2)에서 나온 수치(2.73%)에 비해 97% 증가하였다

3-3. 추가적으로 SKYLight 장비의 QC 수치를 2010년 1월부터 10월까지 그래프로 나타내보았다. 5월경에 기존의 intrinsic flood table로 보정을 하는 것을 extrinsic flood table로 교체를 하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 교체 시점 전 후로 해서 균일도의 급격한 차이가 있음을 알 수 있다(Fig. 3).

결 론

입사된 방사선의 종류와 동일한 flood table 을 사용하여 균일성을 보정해 주어야 균일도가 가장 우수하게 나왔다. 더불어 다른 장비에서도 동일한 결과가 나왔으며, 콜리메이터의 유무와 같이 감마선을 검출할 때의 상황을 flood table 을 만들 때의 상황과 같은 상황일 때가 균일도가 가장 높음을 알 수 있었다.

그래서 감마 카메라의 균일성을 높게 유지하기 위해서는, flood table 에 대한 정확한 이해와 함께, 사용하는 방사선의 종류별로 flood table 을 갖추고 있어야 하고, 입사된 방사선의 종류에 따른 적합한 flood table 을 선택해서 보정을 해주어야 한다. 그리고 콜리메이터의 유무에 따른 내인성 flood table 과 외인성 flood table 도 구비해 있어야 하고, 임상적 검사를 할 때는, 콜리메이터를 장착한 상태로 감마선을 받아 들이기 때문에 반드시 extrinsic flood table 을 선택해서 보정을 해야, 우수한 균일성을 유지 할 수 있다. 더불어, 검출기의 상태는 수시로 변화하기 때문에, 지속적인 주기적인 flood table 의 교정이 필요하겠다.

그런데, 실제 임상 상의 많은 감마 카메라에서는 extrinsic flood table 을 유지하기엔 너무 시간도 많이 소요가 되고, 현실적으로 번거로움이 많이 있는 터라, 인식이 되지 않는 곳도 많다. 심지어 장비 업체에서는 extrinsic flood table 을 만드는 것에 대한 업무 절차 자체도 구비해 있지 않은 경우가 있다. 그러기에 flood table 에 대한 적절한 이해를 통해, 선원 별 extrinsic flood table 을 갖추어야 하고, 매일 균일성 평가를 통해 감마 카메라의 성능을 유지 시켜야 하겠다.

요 약

감마 카메라 안에는 검출기의 감도를 균일하게 해주는 flood table 이 내장되어있어 있는데, 우수한 균일성을 유지하기 위해서는 적합한 flood table 을 사용하여야 한다. 왜냐면 flood table 은 입사된 방사선의 종류와 에너지, 용량에 따라 차이가 나기 때문이다. 그래서 본 논문에서는 적절치 못한 flood table 을 사용하였을 때, 영상의 균일성이 어떻게 변화하는지를 알아보겠다. 입사 방사선으로 ^{57}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl 370 MBq 를 사용하였다. Philips 사의 SkyLight, GE 사의 Infinia 감마 카메라를 사용하여, 각 선원 별로 각각 ^{57}Co 로 교정된 flood table, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 로 교정된 flood table 로

보정한 영상을 얻고, 균일성을 보정하지 않은 영상과 비교하였다. 추가적으로 콜리메이터를 장착한 상태에서 데이터를 얻고 내인성 flood table 과 외인성 flood table 로 보정해 보았다. 이렇게 나온 결과 영상을 가지고 균일도를 평가하였고, 그 값들을 서로 비교하였다. ^{57}Co 를 사용한 경우 보정을 하지 않았을 때 균일도는 9.34% 이고, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ flood table 로 보정하였을 때는 5.91%, ^{57}Co flood table 일 경우 4.9% 가 나왔다. ^{201}Tl 을 사용한 경우, 보정하지 않으면 9.81%, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ flood table 은 7.03%, ^{57}Co flood table 은 7.49% 나왔다. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 을 사용한 경우, 무보정 시 9.67%, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ flood table 은 3.96%, ^{57}Co flood table 은 5.69% 나왔다. 그리고 내인성 flood table 로 보정을 한 경우 6.28% 나왔다. flood table 이 입사된 방사선의 종류와 맞지 않는다면 균일도는 변화되는 걸 알 수 있었고, 입사된 방사선과 flood table 을 교정한 방사선원의 종류가 일치할 때, 감마 카메라의 균일도는 가장 좋음을 알 수 있다. 더불어 내인성, 외인성 시스템처럼 콜리메이터의 유무에 따라 다르게 교정한 flood table 에 따라서도 균일도는 변화됨을 알 수 있다. 따라서 감마선을 받아 들이는 상황과 방사선원에 따라 일치한 flood table 을 지정하여야 하고, 정기적으로 flood table 을 개선시켜 주어야 높은 균일성을 유지 시킬 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. 고창순. 제3판 핵의학. 고려의학: 2008
2. Siemens Signature system user's guide
3. GE InfiniaTM ACQ user's guide
4. Thomas N. Pardikal et al: field flood uniformity correction: *J Nucl Med* 17 : 653-656, 1976
5. Bernard E Oppenheim and C. Robert Appleton : Uniformity correction for SPECT using a mapped cobalt-57 sheet source : *J Nucl Med* 26:409-415. 1985
6. 주광태 외 2 : 방사선 물리학 : 1995