

## $^{99m}\text{Tc}$ , $^{123}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ 을 이용한 갑상선 탐침의 계수 불능시간영향의 특성과 그의 보정 방법에 관한 연구

손혜경\*\*, 김희중\*, 나상균\*\*, 이희경\*  
울산대학교 의과대학 핵의학과\*\*  
이과대학 물리학과\*\*

### 초 록

목적 :  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 과 lucite cylindrical phantom을 이용 갑상선 탐침(thyroid probe)의 계수불능시간(dead time)을 알아본 후 그의 보정방법에 대해 알아보려고 하였다.

재료 및 방법 : 갑상선 탐침과 lucite cylindrical phantom을 사용하여  $^{99m}\text{Tc}$  10.5mCi는 약 43시간,  $^{123}\text{I}$  2.08mCi는 약 79시간동안 2시간 간격으로,  $^{131}\text{I}$  2.06mCi는 약 910시간 동안 6시간 간격으로 medical spectrometer를 통해 계수하였다. 이때 실제 선량과 계수곡선을 이용 계수불능시간의 영향을 받기 시작하는 지점을 측정하기 위해 매 실험시 dose calibrator를 사용하여 선량을 측정하였다.

결과 :  $^{99m}\text{Tc}$ 은 모든 거리에서 약 0.80mCi,  $^{123}\text{I}$ 은 1.00mCi 지점에서 dead time의 영향을 받기 시작했다. 20%의 계수손실이 일어나는 지점에서의 방사능세기는  $^{99m}\text{Tc}$ 의 경우는 1.29(center), 1.28(2cm), 1.31(4cm), 1.13(6cm)mCi이었고  $^{123}\text{I}$ 은 1.39mCi이었다. 각 방사능핵종에 대한 correction factor값의 일례로 선량이 2mCi일때  $^{99m}\text{Tc}$ 의 경우는 각각 1.52(center), 1.52(2cm), 1.50(4cm), 1.58(6cm)이었고  $^{123}\text{I}$ 의 경우는 1.58이었다.

### 서 론

방사능 핵종과 NaI(Tl)결정의 섬광탐침을 이용 갑상선 섭취율을 측정하여 갑상선 기능을 검사하는 일은 핵의학에서 가장 기본적인 중요한 검사이다. 이러한 갑상선 기능 검사는 갑상선에 의해 옥소화물이 포획되어 저장되는 개념에 기초를 둔다.

갑상선기능검사에 있어 방사성 핵종의 갑상선섭취율은 갑상선탐침의 계수불능시간에 의해 크게 좌우된다. 그것은 계수 불능시간의 영향으로 인해 비선형적으로 실제 count보다 더 적게 계수될 수 있어 정확한 진단을 내리는데 어려움을 줄 수 있기 때문이다. 갑상선의 방사성옥소 섭취율은 (목의 분당계수-대퇴부의 분당계수)/(표준 분당계수-배후방사능)×100으로 정의되어진다.<sup>1)</sup> 이 실험에서  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 과 lucite cylindrical phantom(인체와 거의 유사한 구성성분으로 이루어진 목형태의 플라스틱 원통형 팬텀)을 이용하여 갑상선탐침의 계수불능시간의 특성들을 연구한 후 그의 보정 방법들을 알아보았다.

Key words : 방사성 핵종, 갑상선 탐침, 계수 불능시간, 보정방법

## 이 론

### 방사성 핵종

갑상선기능검사에 사용하는 핵종으로는 여러 종류가 있으나 <sup>99m</sup>Tc, <sup>123</sup>I, <sup>131</sup>I이 가장 널리 이용되고 있다(표1).

표 1. 갑상선기능검사에 사용되는 방사성동위원소의 특성

	<sup>99m</sup> Tc	<sup>123</sup> I	<sup>131</sup> I	<sup>125</sup> I
반감기	6시간	13시간	8.06일	60.2일
주 에너지(keV)	140	159	364	35
섭취율검사 사용량(μCi)	-	20	5-10	-
스캔검사 사용량	2-5mCi	150-400μCi	50-100μCi	-
전신 방사능 피폭량(rads/mCi)	0.014	0.027	0.47	0.29
갑상선 방사능 피폭량(rads/mCi)	0.13	2.4-13.0	260-1300	140-790

<sup>131</sup>I은 반감기가 8.06일, 주 감마 에너지가 364keV로 반감기가 길고 에너지가 크며 베타선을 방출하기 때문에 불리한 점이 많아 점차 그 이용도가 감소되고 있으나 갑상선스캔과 옥소섭취율검사에 이용되어져 왔다. <sup>123</sup>I은 주 감마에너지가 159keV이고 반감기가 13시간으로 아주 적절한 동위원소이나 비용이 비싼 단점이 있다. <sup>125</sup>I은 감마 에너지가 27,35keV이며 반감기가 60일로 길어서 갑상선 스캔이나 옥소섭취율검사에는 사용할 수 없고 주로 방사면역측정에 이용된다. <sup>99m</sup>Tc은 그 물리적 특성(반감기 6시간, 감마 에너지 140keV)이 우수하여 환자에 대한 방사능 피폭이 적고 현재 사용중인 카메라나 스캐너로 영상 형성이 용이하므로 주로 갑상선스캔에 널리 이용되고 있다.

### 계수불능시간

방사선 source를 사용하는 모든 방사선 계수장치는 각각의 검출된 event들을 처리하는데 필요한 시간과 관계된 계수불능시간 또는 pulse 분해시간  $\tau$ 의 특성을 보인다. 방사선 검출기에 의해 만들어진 pulse는 한정되어 있는 시간주기를 가지고 있어서 만약 첫번째 신호가 사라지기전에 두번째 신호가 발생한다면 그 두 개의 pulse는 하나의 찌그러진 pulse의 형태로 겹쳐지거나 두번째 신호는 분석되지 않아 event의 손실이 있게 될 것이다. 이러한 손실을 계수불능시간 손실이라고 한다.<sup>1,4)</sup>

### 갑상선 탐침

갑상선 탐침은 주로 <sup>131</sup>I-Nal capsule을 구강으로 투여한 후 thyroid gland에서 <sup>131</sup>I의 섭취를 측정하기 위해 만들어진 계수기이다. 이것은 well counter로써 두께가 5cm이고 직경이 5cm인 Nal(Tl) detector와 다른 부수적인 전기적 장치로 구성되어 있다. 탐침의 동작은 well counter와 거의 유사하다. 한가지 차이점은 갑상선 탐침이 갑상선상의 시야를 제한하기 위한

조준기가 필요하다는 것이다. 조준기는 20-25cm의 납으로 만들어진 긴 cylinder barrel이고 검출기를 덮고 있다(그림 1). 이것은 다른 기관들로부터 검출기에 도달하는 감마선을 제한한다. 탐침의 효율은 검출기와 갑상선사이의 거리에 역으로 변화한다. 탐침은 초기에  $^{137}\text{Cs}$ 의 662keV 감마선 에너지를 사용하여 well counter와 같은 방법으로 photon energy에 대해 calibration되어진다. 그런 후 discriminator 설정은  $^{131}\text{I}$ 의 364keV의 감마선에 대해 설정되어진다. 갑상선 조직에서의 photon의 감쇠는 탐침의 검출효율을 전체적으로 감소시킨다. Compton scattering에 의해 갑상선에서 산란된 photon들은 검출기와 상호작용을 하게된다. 그러나 이들 산란된 photon들은 pulse height analyzer상에서  $^{131}\text{I}$ 의 364keV 감마선에 대해 discriminator를 적절히 설정해줌으로써 측정되는 count로부터 제외시킬 수 있다. Thyroid uptake test에서  $^{131}\text{I}$  약 10-15 $\mu\text{Ci}$ 를 포함한  $^{131}\text{I}$ -Nal capsule이 갑상선 탐침과  $^{131}\text{I}$ 의 364keV photon에 대한 설정을 이용하여 고정된 거리에서 lucite thyroid phantom내에서 측정되어진다. Lucite phantom의 두께와 구성성분은 갑상선에서의 두께, 구성성분들과 거의 동등하다. 이 count는 standard count로 고려되어진다. 그런 후 capsule을 환자에게 구강으로 투약하고 thyroid count는 주입 24시간후 일정한 거리에서 얻어진다. Room background count는 standard count로부터 빼주기 위한 background로 얻어지고 넵적다리 count는 thyroid count로부터 빼주기 위한 background로 얻어진다.

### 갑상선기능 검사

방사성옥소의 갑상선 섭취율검사의 주 목적은 방사성옥소가 갑상선내에 축적되고 호르몬 생성에 이용되는 것과 분비율을 알아보는 데 있다. 옥소는 갑상선에 능동적으로 축적되고 갑상선호르몬 생성의 기질이므로 방사성옥소를 투여한 후 일정한 시간에서 갑상선에 옥소방사능치는 곧 갑상선 대사기능의 활성도를 반영하는 지표가 된다. 따라서 옥소섭취율 검사는 갑상선의 전반적인 기능상태를 알아보는 검사법이다. 검사방법은 방사능 원료마다 사용하는 원료의 세기나 투여방법등에 약간의 차이가 있으나 방사능 계측은 모두 유사한 방법으로 시행되어진다.<sup>1)</sup> 일반적으로 방사능 계측은 환자를 앉히고 갑상선으로부터 일정한 거리(주로 25cm)에 검출기를 위치하여 계수한다.  $^{131}\text{I}$ 의 경우는 투여하고 2, 4, 6, 24시간

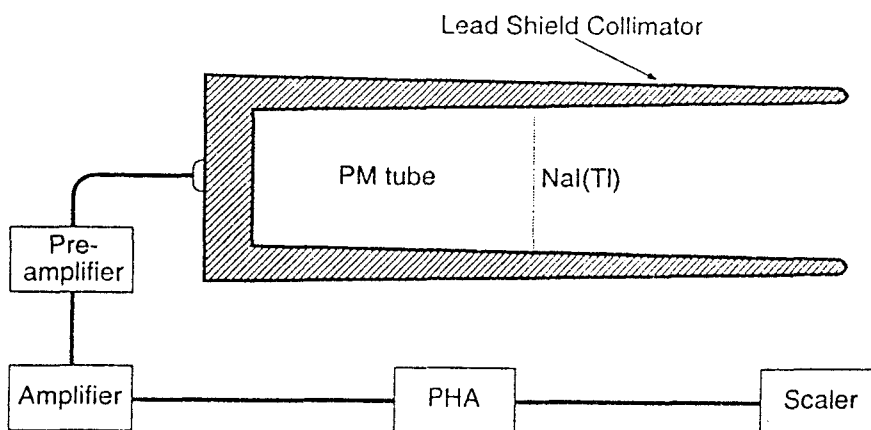


Fig. 1. A schimatic diagram of a thyroid probe

$^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 을 이용한 갑상선 탐침의 계수 불능시간영향의 특성과 그의 보정 방법에 관한 연구

후에 시행하는데 일반적으로 24시간 후의 갑상선섭취율을 주로 이용한다.  $^{123}\text{I}$ 의 경우는  $^{131}\text{I}$ 섭취검사와 같은 방법으로 검사하고 24시간 후 스캔을 같이 시행한다.  $^{99m}\text{Tc}$ 의 경우는 정맥주사하고 20분 후에 갑상선과 대퇴부에서  $^{131}\text{I}$ 섭취율검사법과 같은 방법으로 방사능을 계측하고 동시에 표준시료의 방사능을 계측한다.

### 임상응용

방사성옥소섭취율검사는 갑상선의 전체적인 기능자체를 검사하는 것으로 24시간 섭취율을 많이 이용한다. 측정상 편리한 점도 있지만 대부분의 경우 갑상선내 옥소섭취율은 24시간에 평형을 이루기 때문이다. 방사성옥소섭취율은 갑상선기능상태에 따라서 갑상선기능항진일때는 증가되고 갑상선기능저하일때는 감소되지만 상당수의 환자에서 정상범위와 겹친다. 방사성옥소섭취율검사의 임상응용은 주로 아래와 같은 경우에 이용된다.

- 1) 갑상선기능항진증에서 방사성옥소( $^{131}\text{I}$ )치료시 치료량 결정
- 2) 야급성 갑상선염(subacute thyroiditis), 무통성 갑상선염의 진단
- 3) 과염소산(perchlorate)방출시험
- 4)  $\text{T}_3$  - 억제시험
- 5) 전반적인 갑상선기능 상태의 파악

### 방 법

방사성핵종은  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 을 사용했다.  $^{99m}\text{Tc}$  10.50mCi(388.50MBq)는 약 43시간,  $^{123}\text{I}$  2.08 mCi(76.96MBq)는 약 79시간동안 2시간 간격으로,  $^{131}\text{I}$  2.06mCi(76.22MBq)는 약 910시간동안 6시간 간격으로 lucite cylindrical phantom속의 일정한 위치에 놓고 medical spectrometer를 통해 계수하였다. 실제 선량과 계수곡선을 이용, 계수불능시간영향을 알아보기 위해 매 실험시 dose calibrator를 사용하여 선량을 측정하였다. Source의 중심에서의 위치의 변화에 따른 계수불능시간 영향의 변화를 보기위해  $^{99m}\text{Tc}$ 을 이용하여 중심에서 2cm, 4cm, 6cm의 위치에서 32시간동안 각각을 계수하였다(그림 2).

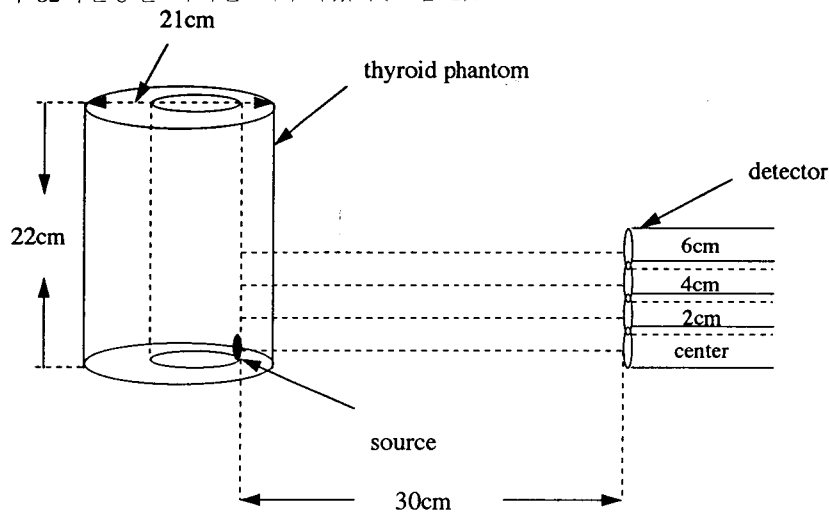
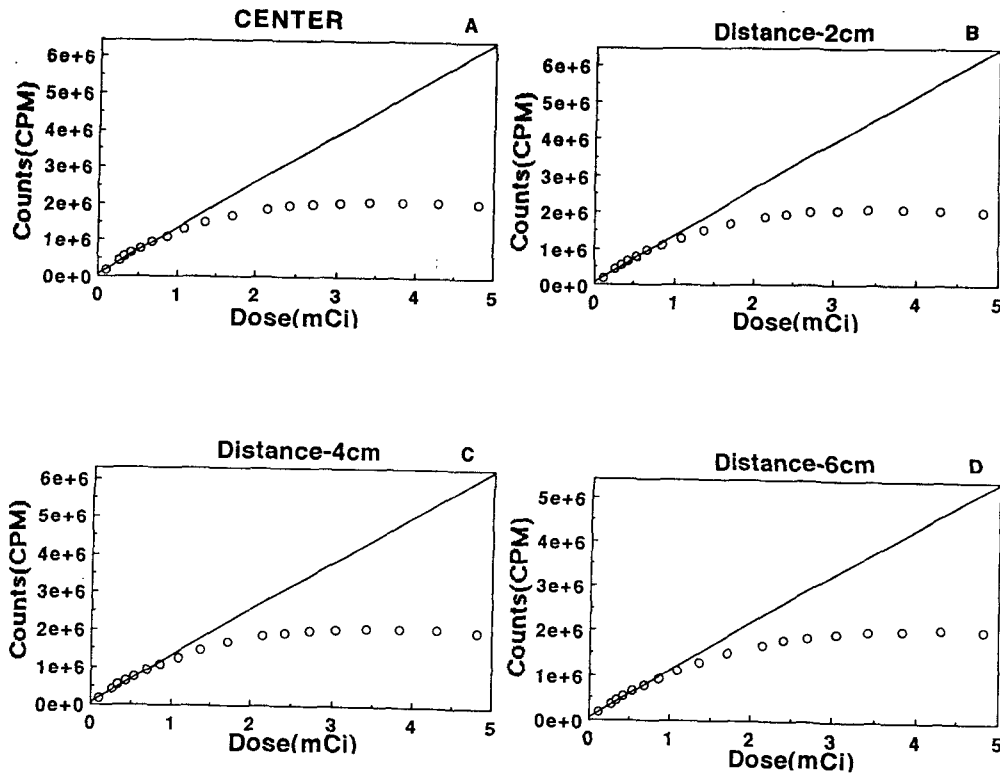


Fig. 2. An experimental setup

측정한 계수는 각 계수마다 배후방사능을 제거하여 주었다. 탐침계수와 방사능 세기의 이론적인 계산을 위하여 측정치 중 선형적인 부분만을 발췌하여 linear curve fitting을 해주었다. 그리고 correction factor를 구하기 위해 실제 측정에서 얻은 측정값은 matlab program에서 multi-exponential curve fitting을 해주었다. 또한 측정한 각각의 방사능에서 계수불능시간의 영향으로 인해 20%의 계수손실이 일어나는 방사능을 알아보기 위해 (이론계수값-측정계수값)/이론계수값×100의 식을 이용하여 20%계수손실값에 해당하는 방사능을 계산하였다.

### 결 과

Dose calibrator로 측정한 dose 대 medical spectrometer를 사용한 counts와의 관계를 그림 3에 보여주고 있다. Dose 대 counts의 그래프에서 dead time의 영향을 받는 지점을 표시하기 위해 선형적인 부분만을 이용하여 선형직선을 그어주었다. <sup>99m</sup>Tc의 경우는 center를 비롯한 모든 거리에서 약 0.80mCi, <sup>123</sup>I 경우에는 약 1.00mCi 지점에서 dead time의 영향을 받기 시작하는 것을 볼 수가 있다(그림 3). 그림 4는 dose calibrator를 이용하여 측정한 각 방사능



$^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 을 이용한 감상선 탐침의 계수 불능시간영향의 특성과 그의 보정 방법에 관한 연구

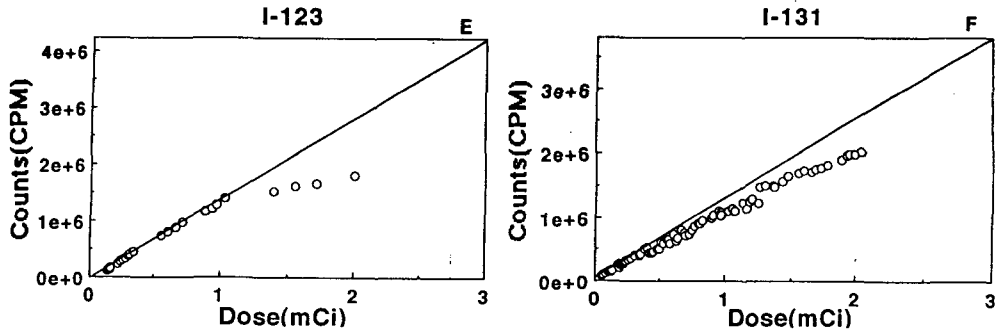


Fig. 3. Counts versus measured radioactivities for  $^{99m}\text{Tc}$  at center(A), 2cm(B), 4cm(C), 6cm(D),  $^{123}\text{I}$ (E) and  $^{131}\text{I}$ (F) at center

핵종들의 선량의 신뢰도를 알아보기 위해 dose calibrator를 이용한 각 핵종의 측정된 dose와 이론적으로 계산된 dose의 선형성을 linear curve fitting을 사용하여 보여주었다(그림 4).

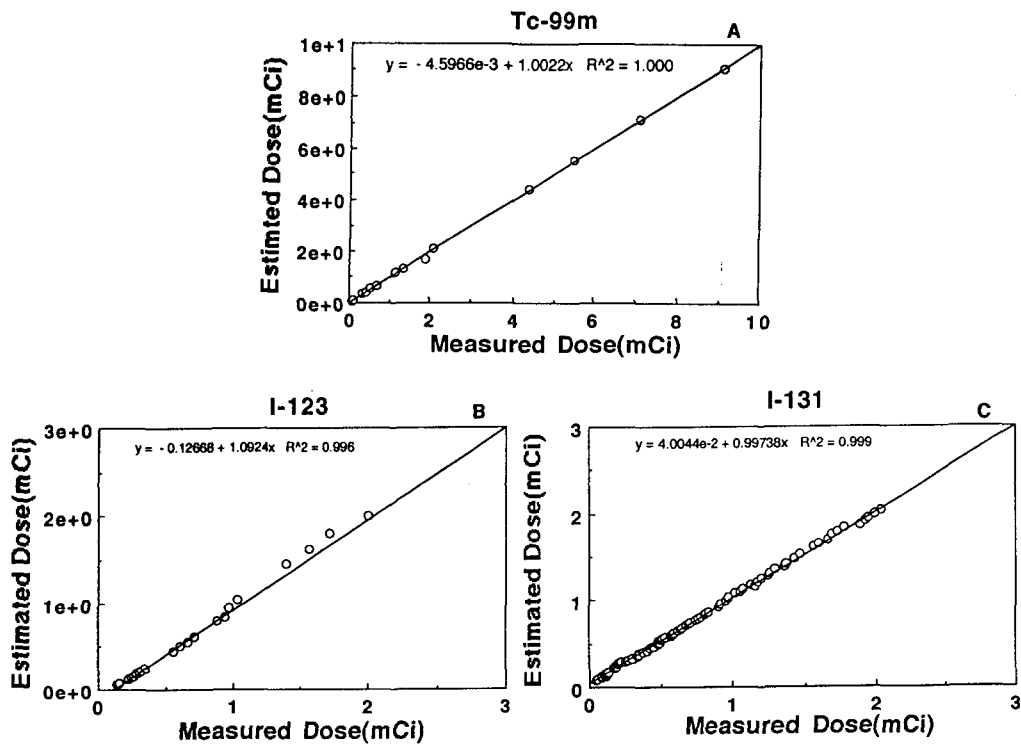


Fig. 4. Correlations between estimated and measured radioactivities for  $^{99m}\text{Tc}$ (A),  $^{123}\text{I}$ (B),  $^{131}\text{I}$ (C)

결과에서 볼 수 있듯이 모두 높은 상관계수값을 가짐을 알 수 있다. 그림 5는 임상에서 주로 이용하는 20% 에너지 윈도우에서의 counts손실을 구하기 위해 dose 대 counts 그래프에서 선형적인 부분만을 발췌하여 linear curve fitting을 해주어 기울기와 상수를 구한 후 1차 선형방정식을 세운 후 미지값 x에 실제 구한 선량값을 대입해주어 이론적 결과 그래프를 얻었다(그림 5). 그런 후 linear interpolation 방법을 이용하여 20%계수손실이

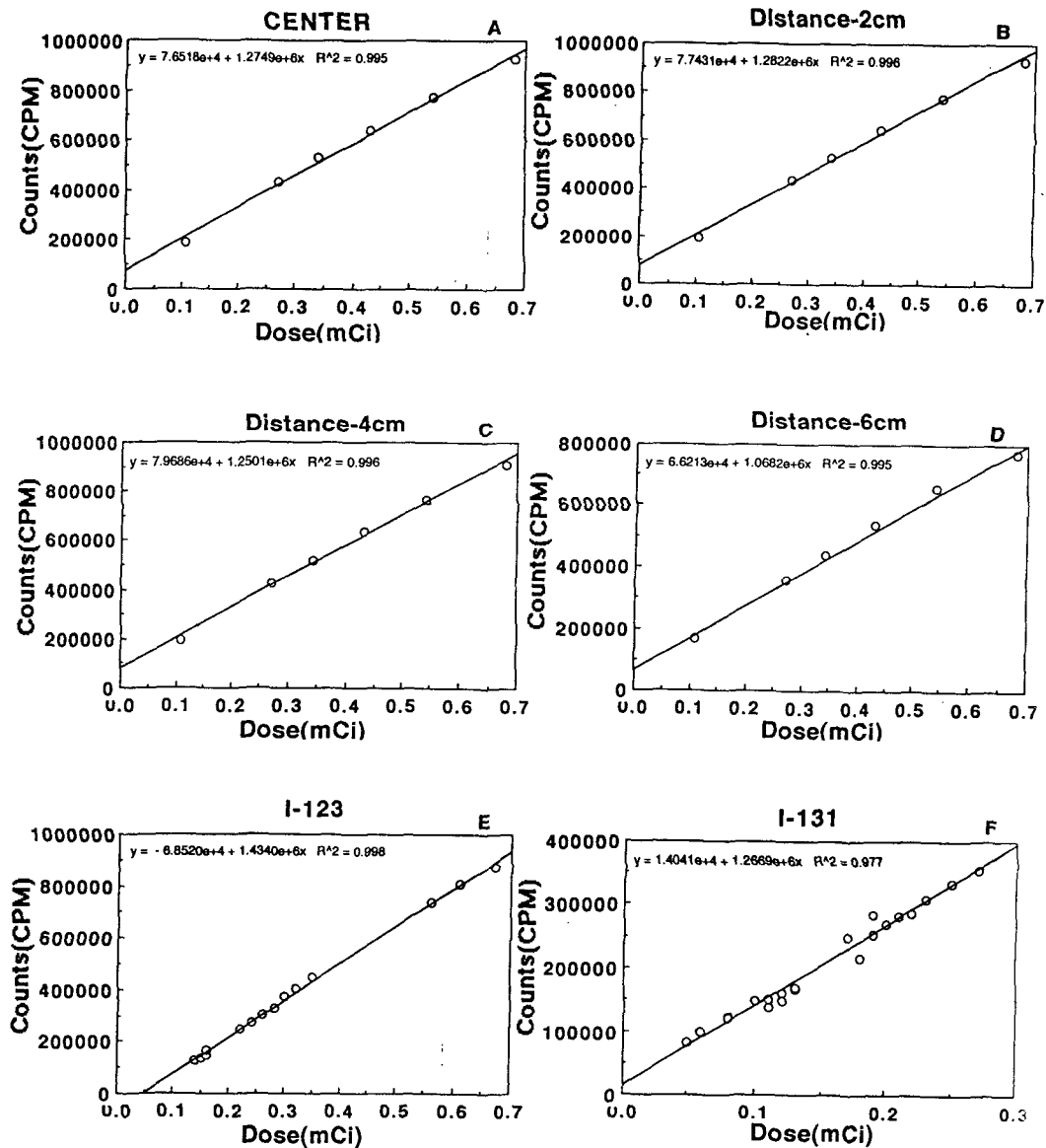


Fig. 5. Linear portion of measured data with Linear curve fitting for  $^{99m}\text{Tc}$  at center(A), 2cm(B), 4cm(C), 6cm(D),  $^{123}\text{I}$ (E), and  $^{131}\text{I}$ (F) at center

$^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 을 이용한 갑상선 탐침의 계수 불능시간영향의 특성과 그의 보정 방법에 관한 연구  
 일어나는 지점에서의 방사능을 계산하였다(표 2). 또한 결과값에서 비선형적인 부분만을

표 2. 각 방사능핵종에서 20% count 손실이 일어나는 지점의 선량

Activity at 20% count loss	Dose(mCi)
$^{99m}\text{Tc}$ at center	1.29
$^{99m}\text{Tc}$ at 2cm	1.28
$^{99m}\text{Tc}$ at 4cm	1.31
$^{99m}\text{Tc}$ at 6cm	1.13
$^{123}\text{I}$ at center	1.39

발췌하여 three-exponential curve fitting(그림 6)을 하여 구한 값으로 측정값을 얻었다. 그런

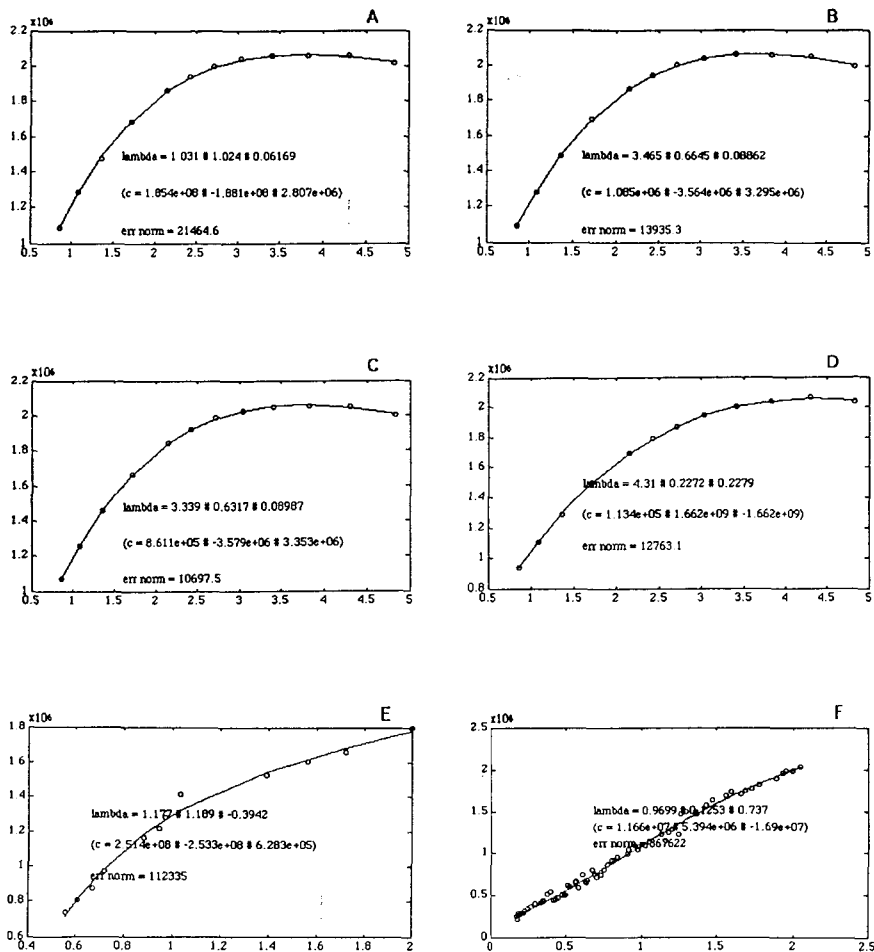


Fig. 6. Three-exponential curve fittings for  $^{99m}\text{Tc}$  at center(A), 2cm(B), 4cm(C), 6cm(D),  $^{123}\text{I}$ (E), and  $^{131}\text{I}$ (F) at center



후 linear curve fitting에서 얻은 이론값과 exponential curve fitting에서 얻은 측정값을 이용하여 이 두 값사이의 보정을 위해 그 비로써 나타낼 수 있는 correction factor를 계산해 주었다(표 3). 단  $^{131}\text{I}$ 의 경우는 실험에서 얻은 data만으로는 dead time의 영향을 받기 시

표 3.  $^{99m}\text{Tc}$ 과  $^{123}\text{I}$ 에 대한 correction factor

Dose(mCi)	Correction Factor				
	center	$^{99m}\text{Tc}$			$^{123}\text{I}$
2cm		4cm	6cm		
2.0	1.52	1.52	1.50	1.58	1.58
2.2	1.61	1.60	1.59	1.65	1.67
2.4	1.70	1.70	1.68	1.72	1.75
2.6	1.80	1.80	1.77	1.80	1.81
2.8	1.90	1.90	1.88	1.88	1.85
3.0	2.00	2.01	1.98	1.97	1.88
3.2	2.14	2.13	2.09	2.06	1.89
3.4	2.24	2.25	2.21	2.15	1.88
3.6	2.36	2.37	2.33	2.25	1.87
3.8	2.49	2.50	2.46	2.35	1.84
4.0	2.63	2.64	2.59	2.46	1.81
4.2	2.76	2.79	2.73	2.57	1.77
4.4	2.91	2.94	2.87	2.69	1.72
4.6	3.06	3.09	3.02	2.82	1.67
4.8	3.21	3.25	3.18	2.95	1.62
5.0	3.37	3.42	3.34	3.08	1.56

작하는 지점을 볼 수가 없었기 때문에 dead time의 발생지점과 correction factor, 20% count 손실이 일어나는 지점의 방사능을 구하는데서 제외되었다.

## 결 론

이론적으로 예상할 수 있는 선량 대 계수곡선은 선형적인 관계를 가질 것이다. 그러나 여러가지 요인들에 의해서 선량 대 계수곡선은 선형적인 관계를 보이는 직선의 방정식을 따르기보다는 오히려 지수함수적 경향을 보인다. 이러한 경향은 쉽게 예측될 수 있는 것이었으며 우리는 이 실험에서 이러한 경향에 계수불능시간이 많은 영향을 미칠 것이라는 예상하에 실험을 수행하였다. 먼저 source의 중심에서 윗방향으로 2cm, 4cm, 6cm만큼 위치를 변화시키면서 살펴본 위치에 따른 계수불능시간영향의 변화정도는 미세한 차이만을 보여 임상에서 환자측정시 섬광탐침이 갑상선의 중심에서 조금 벗어나더라도 진단결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 한편 계수불능시간이 발생하는 지점을 나타낸 결과 그래프(그림 3)와 20%계수손실을 계산한 결과(표 2)에서 볼 수 있듯이 우리가 예상했던대로

$^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ 을 이용한 갑상선 탐침의 계수 불능시간영향의 특성과 그의 보정 방법에 관한 연구

계수불능시간의 영향으로 인해 많은 양의 계수를 잃고 있음을 확인할 수 있었다.

그러므로 이러한 실험을 수행함으로써 섬광탐침을 이용한 갑상선 기능 검사시 방사선량의 측정된 값과 이론적인 값 사이의 correction factor를 구하여 보정을 해줌으로서 좀 더 정확한 진단을 내리는데 큰 도움을 줄 것으로 생각되어진다.

## 참 고 문 헌

1. 고창순 : 핵의학. 고려의학, (1995) pp. 261-265.
2. James A. Sorenson, Michael E. Phelps: Physics in Nuclear Medicine. Grune & Stratton Inc, (1987) pp. 252-253.
3. 이준일 : 핵의학기술학. 대학서림, (1986) pp. 239.
4. Gopal B. Saha: Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine. Springer-Verlag, (1993) pp. 91-92.

손혜경, 김희중, 나상관, 이희경

## The Effects of Dead Time and Its Correction Methods for Thyroid Probe using $^{99m}\text{Tc}$ , $^{123}\text{I}$ , and $^{131}\text{I}$

Hye Kyung Son, M.S.\*\* , Hee Joung Kim, Ph.D.\* ,  
Sang Kyun Nha, Ph.D.\*\* , Hee Kyung Lee, M.D.\*  
Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center\*.  
Department of Physics, University of Ulsan, Seoul, Korea\*\* ,

### Abstract

The purpose of this study was to examine the dead time effects and derive the correction factor. Using the thyroid probe and lucite cylindrical phantom,  $^{99m}\text{Tc}$  10.50mCi and  $^{123}\text{I}$  2.08mCi were counted with medical spectrometer at intervals of 2 hours for 43hrs and 79 hours, respectively.  $^{131}\text{I}$  2.06mCi was counted at intervals of 6 hours for 910 hours. To measure the starting point of dead time effect, the radioactivity was measured with dose calibrator in each time. The dead time effects started at about 0.80mCi at all distances for  $^{99m}\text{Tc}$ , and about 1.00mCi for  $^{123}\text{I}$ . The radioactivity corresponding to 20% counts loss is 1.29(center), 1.28(2cm), 1.31(4cm), 1.13(6cm)mCi for  $^{99m}\text{Tc}$  and 1.39mCi for  $^{123}\text{I}$ . The correction factors for 2mCi of radioactivity as an example were 1.52(center), 1.52(2cm), 1.50(4cm), 1.58(6cm) for  $^{99m}\text{Tc}$  and 1.58 for  $^{123}\text{I}$ .