

표준계수 측정 시 기하학적 요인이 방사성 요오드 갑상선 섭취율에 미치는 영향

연세의료원 세브란스병원 핵의학과¹, 신구대학교 방사선과²

오주영¹ · 김정열¹ · 오기백¹ · 오신현¹ · 김재삼¹ · 이창호¹ · 박훈희²

The Effect of Geometric Factors When Measuring Standard Count for Radioactive Iodine Thyroid Uptake Rate

Joo Young Oh¹, Jung Yul Kim¹, Shin Hyun Oh¹, Ki Baek Oh¹, Jae Sam Kim¹, Chang Ho Lee¹,
and Hoon-Hee Park²

¹Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

²Department of Radiological Technology, Shingu College, Seongnam, Korea

Objectives: It is certain that Radioactive iodine thyroid uptake(RAIU) rate should be measured with the standard counts considering the thyroid gland depth in enlarged thyroid patients for the variation from geometric factors. The purpose of this paper is to consider the effects of geometric factors according to detector to source distance and the effective thyroid depth on RAIU rate with experiment test. **Materials and Methods:** I-131 370 kBq (10 μ Ci) point source was measured by Captus-3000 thyroid uptake system (Capintec, NJ, USA) with a change Detector-Source Distance from 20 cm to 30 cm at an interval of 1 cm. And we changed the Neck phantom surface-Source Depth in the phantom with 1 cm, 2 cm, 5 cm using the neck phantom in order to reproduce the effective thyroid depth. **Results:** Every experimental group follows power curve as inverse square curve ($R^2 \geq 0.915$). The average count rates in the case not using a phantom and the every case applied the effective thyroid depth using a phantom was not identical each other. There was significant fluctuations upon the effective thyroid depths applied the effective thyroid depth above 1 cm in 364.4 keV \pm 10% energy ROI ($p < 0.01$). There was not significant difference between the count rates of 1 cm and 2 cm in 364.4 keV \pm 20% and 637.1 keV \pm 6.2% ($p = 0.354$, $p = 0.397$). In assumed RAIU rate from regression equation, 364.4 keV \pm 20% was lower difference than 364.4 keV \pm 10% as 6.42% and 5.09% per 1 cm. Every change of count rate upon depth appears decreased line on Linear Regression, but the case of 284.3 keV \pm 10% increased only. And also, The graphs of coefficient of variation upon depth increased as straight line on every experimental group. **Conclusion:** The result appears that application of 364.4 keV \pm 20% energy ROI is more suitable for reducing error from the effective thyroid depth. And also, we can estimate the error of 20 cm should be highly reduced than 30 cm for Inverse Square Law. Therefore, If there is not information of the thyroid depth, it is considered that the error from thyroid depth can reduce through set up energy ROIs for 364.4 keV \pm 20%, and increase Detector-Source Distances. (**Korean J Nucl Med Technol 2013;17(1):53-61**)

Key Words : ¹³¹I, Thyroid uptake, Effective thyroid depth

서 론

- Received: February 6, 2013. Accepted: April 8, 2013.
- Corresponding author : **Joo Young Oh**
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei
University Health System, 134 Shinchon-Dong, Seodaemun-Gu,
Seoul 120-749, Korea
Tel: +82-2-2228-6052, Fax: +82-2-312-0578
E-mail: joo053@yuhs.ac

방사성 요오드 갑상선 섭취율 검사는 1938년 Hamilton¹⁾과 Hertz²⁾에 의해 처음 소개 된 이래로, ORINS와 IAEA³⁾에 의해 표준화되었다. 70여년이 지난 지금, 방사성 요오드 갑상선 섭취율이 갑상선 기능 검사의 표준이 되었음에도

불구하고, 검사 결과에 영향을 미치는 다양한 인자들이 결과에 오류를 일으키는 것이 사실이다. 대표적으로 검사에 영향을 미치는 인자는 요오드 함유 물질, 갑상선종 유발 물질(goitrogenic foods), 항 갑상선제(antithyroid drugs), 호르몬제, 요오드 조영제, 환자의 건강 상태 등이 있으며, 잠재적 영향을 주는 인자는 더욱 다양하다.⁴⁾ 이에 2006년 Society of Nuclear Medicine⁵⁾에서는 일선 방사선사에게 검사 결과에 오류를 줄이고 병원 실무에 적절히 활용하게 하기 위해서 갑상선 섭취율 측정 절차서를 배포하였다. 이 절차서에 따르면 검사 오류의 원인으로, 검출기-목 표면 간 거리, 부적절한 목 팬텀(neck phantom) 사용, 환자의 목에 부정확한 중심점 설정, 전기적 불안정성, 배후방사능의 변동, 음식과 약제의 간섭, 목 팬텀의 오염, 타 방사성핵종 투약, 인접한 위치의 타 방사능 영향 등을 기술하고 있다. 특히 측정 기술에 따라 오류의 원인이 되는 검출기-목 표면 간 거리 변동은 술자의 측정법에 따라 차이가 심하고, 그 거리는 결과에 오류를 일으킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 환자마다 다른 갑상선의 깊이를 고려하지 않는다면 그 깊이에 따른 감쇠에 의해 오류가 더욱 증가될 가능성이 있다. A.G Schulz와 F.D Rollo⁶⁾에 따르면, 미국 내 91명의 갑상선 병증의 가능성이 있는 환자의 유효 갑상선 깊이를 조사한 결과 1.0 cm에서 7.0 cm(평균 3.75 cm±1.60 cm)으로

그 차이가 상당히 컸다. 또한 4.75 cm 이상의 환자에서 갑상선 깊이를 고려하지 않은 상태로 검사할 경우, 평균 66% 낮은 갑상선 섭취율 차이를 보일 수 있다고 한다. 따라서 갑상선 기능 항진증, 갑상선염 등의 증세로 인해 거대 갑상선을 지닌 환자의 경우, 적절한 측정법을 사용하지 않는다면 유효 갑상선 깊이가 깊어짐으로 인해 기하학적 오류가 정상인에 비해 증가되게 된다.

이에 본 논문은 환자의 목 표면-검출기 간 거리의 변동과 유효갑상선 깊이의 변화가 ¹³¹I의 표준계수 측정 시 계수율에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고, 방사성 요오드 갑상선 섭취율(RAIU rate)의 오차를 예측해보고자 하였다.

실험 재료 및 방법

측정 장비는 Captus 3000 thyroid uptake system (Capintec, NJ, USA)을 사용하였다. 액체상태의 ¹³¹I 370 kBq (10 µCi)을 1 cc 주사기를 이용하여 점 선원을 만들어 플라스틱 용기(0.5×0.5×7 cm)에 담았다. 선원을 검출기(probe)의 중앙에 위치시킨 뒤, 팬텀이 없는 상태에서 검출기-선원 간 거리를 20 cm부터 30 cm까지 1 cm 간격으로 변화시키며 각각 20초 씩 30회 반복 측정하였다. 이 경우를 유효 갑상선 깊이 0 cm인 경우로 가정하였다. 다음에는 선원을 Standard thy-

Table 1. Neck phantom surface-Source Depth and measurement distance

[*] NSD (cm)	0	1	2	5
^{**} DSD (cm)	20~30	20~30	20~30	22~30
^{***} DND (cm)	20~30	19~29	18~28	17~25

^{*}NSD, Neck phantom surface-Source Depth (effective thyroid depth); ^{**}DSD, Detector-Source Distance; ^{***}DND, Detector-Neck phantom surface Distance.

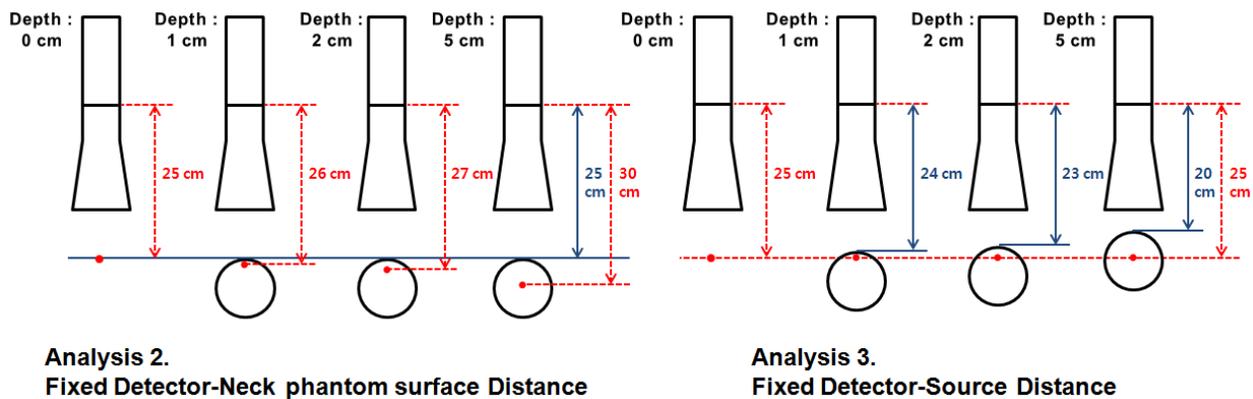


Fig. 1. Second analysis was the case of fixed Detector-Neck phantom surface Distance. We fixed Detector-Neck phantom surface Distances at 25 cm, but only changed Detector-Source Distances. Third analysis was the case of fixed Detector-Source Distance. We fixed Detector-Source Distances at 25 cm, but only changed Detector-Neck phantom surface Distances.

roid uptake neck phantom (Nuclear associate, NY, USA)에 삽입하여 유효 갑상선 깊이를 적용한 후, 팬텀이 없을 때와 동일한 방법으로 계수하였다. 목 표면-선원 간 깊이는 환자마다 서로 다른 유효 갑상선 깊이를 재현하기 위해 1 cm, 2 cm, 5 cm으로 변화하였다(Table 1). 단, 유효 갑상선 깊이 5 cm의 경우, 팬텀의 표면이 조준기(collimator)의 끝 부분과 닿는 문제로 22 cm부터 30 cm까지 측정하였다. 또한 모든 계수율은 ^{131}I 의 에너지 관심영역의 변화에 따른 갑상선 섭취율의 변화를 알아보기 위해 에너지 관심영역을 284.3 keV \pm 10%, 364.4 keV \pm 20%, 364.4 keV \pm 10%, 637.1 keV \pm 6.2%로 4가지로 나누어 측정하였다. 다음과 같이 측정된 계수율은 ^{131}I 의 반감기인 8.03일을 적용하여 붕괴 보정 모드(decay correction mode)로 보정되었다.

마지막으로 얻어진 결과를 3가지 기준으로 나누어 분석하였다. 첫 번째로 거리와 에너지 관심영역을 변화시킨 경우에 거리에 따라 변화된 계수율을 비교하기 위해 곡선추정 회귀분석, 선형 회귀분석(SPSS ver.18)으로 분석하였다. 두 번째로 검출기-목 표면 간 거리를 25 cm으로 고정시킨 경우의 자료를 수집하여, 목 표면-선원 간 깊이와 계수율과

의 관계를 선형 회귀분석하였다(Fig. 1). 마지막으로 검출기-선원 간 거리를 25 cm으로 고정시킨 경우에 대하여 분석하였다. 이 경우 목 표면-선원 간 깊이로 인하여 갑상선의 감쇠에 따른 계수율의 변화를 확인할 수가 있으므로, 이를 위해 일원배치 분산분석(One way ANOVA)을 시행하였다. 일원배치 분산분석은 Scheffe법으로 분석되었다.

결 과

1. 검출기-선원 간 거리와 에너지 관심영역에 따른 계수율의 변화

측정 거리에 따른 갑상선 감쇠는 거리 역제곱 법칙을 따르기 때문에, 거리의 변동에 따른 갑상선 계수율은 이론적으로 거듭제곱곡선으로 추정되어진다. 얻어진 결과 자료를 곡선추정 회귀분석한 결과, 364.4 keV \pm 20%의 모든 실험군에서 얻어진 검출기-선원 간 거리에 따른 갑상선 계수율은 거듭제곱곡선과 높은 상관관계를 보였다($R^2 \geq 0.99$) (Fig. 2). 이는 공기의 감약 등에 의해 발생하는 거리 역제곱 법칙 불

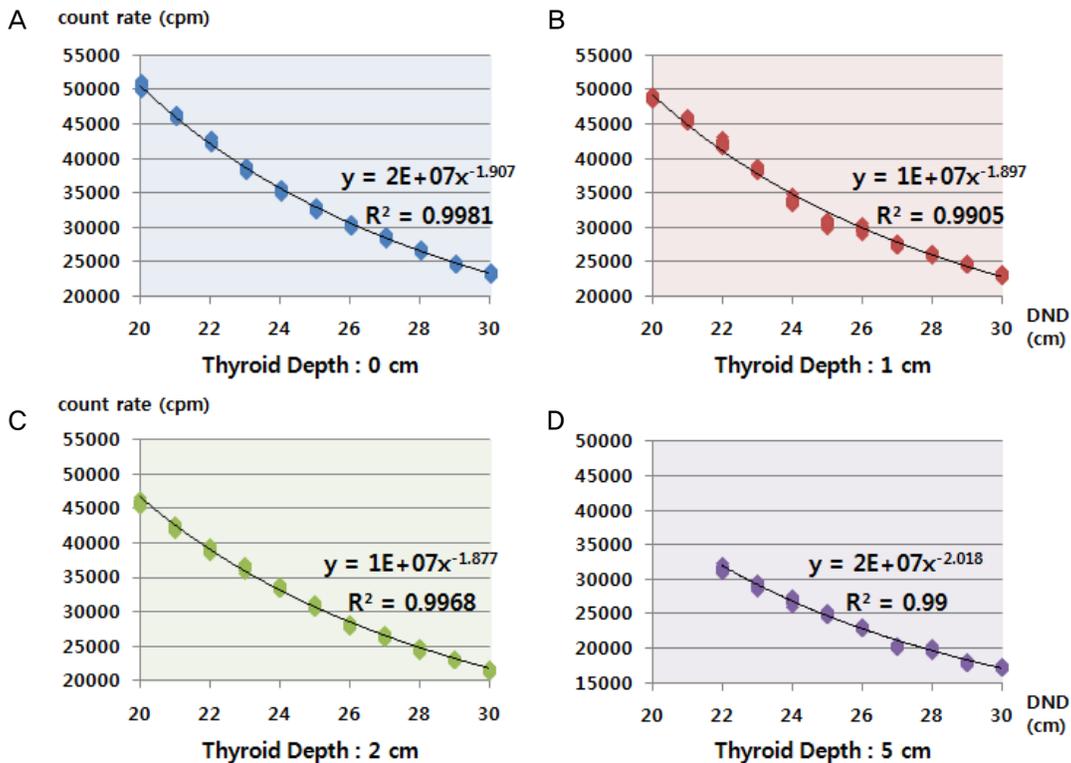


Fig. 2. The results of the curve fitting regression upon every effective thyroid depths at energy ROI of 364.4 keV \pm 20% follows power graphs like as inverse square law. The coefficient of determination value of thyroid depth 0 cm was the highest with (A) graph($R^2=0.9981$). Thyroid depth 5 cm was the lowest with (D) graph($R^2=0.99$), and we could not find a tendency among the effective thyroid depths, because R-squared of (B) was lower than (D).

궤현상이 거의 보이지 않음을 의미한다.⁷⁾ 곧, 추정된 곡선이 거리가 멀어질수록 거리 당 계수율의 차이가 완만해지는 플래토우(plateau)의 영향으로 검출기-선원 간 거리가 멀어질수록 상대적으로 오차가 감소됨을 예상할 수 있다. 모든 에너지 관심영역에서의 곡선추정 회귀분석에서는 637.1 keV±6.2%의 유효 갑상선 깊이 5 cm에서 가장 낮은 결정계수를 보였다(R²=0.915).

거리에 따른 변동계수를 선형 회귀분석 한 결과, 검출기-선원 간 거리가 증가함에 따라 모든 깊이의 모든 에너지 관심영역에서 변동계수가 증가하는 것으로 분석되었다. 하지만 364.4 keV±20%, 364.4 keV±10%의 두 영역은 비교적 낮

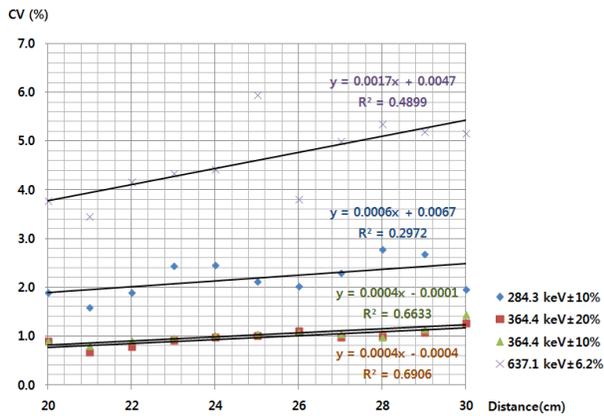


Fig. 3. The results of the simple linear regression upon Detector-Source Distance and coefficient of variations of count rates of 0 cm effective thyroid depth. As the analysis, every coefficient of variations increased when Detector-Source Distance increase.

은 변동계수를 보였다(0.95%±0.45%), 거리에 따른 증가폭이 나머지 두 에너지 관심영역에 비하여 상대적으로 완만하였다(Fig. 3). 유효 갑상선 깊이에 따른 계수율의 오차를 줄이기 위하여 검출기-선원 간 거리를 연장하는 것은 계수율의 표준편차를 증가시키나, 364.4 keV±20%, 364.4 keV±10%의 두 영역을 적용한다면 오차를 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 검출기-목 표면 간 거리가 고정 될 때의 계수율의 변화

검출기-목 표면 간 거리가 고정 된 유효 갑상선 깊이 25 cm 자료를 선형 회귀분석하였고, 회귀식을 통해 유효 갑상선 깊이 0 cm부터 5 cm까지의 예상 계수율과 예상 갑상선 섭취율을 얻었다. 0 cm에서 갑상선 섭취율이 100%라고 가정할 때, 284.3 keV±10% 를 제외한 모든 에너지 관심영역에서 유효 갑상선 깊이가 1 cm 차이가 날 때, 9.32% 이상의 오차가 발생하는 것으로 나타났다(Table 2). 이는 환자의 갑상선 깊이를 예상하지 못하고, 목 표면을 계측지점으로 일괄 설정한다면 오류가 증가할 수 있음을 시사한다. 특히 364.4 keV±10% 에너지 관심영역의 오차가 1 cm 당 -10.38%로 가장 높았고, 284.3±10% 영역은 1 cm 당 -2.03%로 가장 낮은 오차를 보였다. 현재 일반적으로 사용되는 364.4 keV 영역에서는 364.4 keV±10% 영역의 예상 갑상선 섭취율 오차가 364.4 keV±20% 영역에 비해 0.92% 더 높았다. 검출기-목 표면 간 거리가 고정되는 경우, 364.4 keV 영역에서 유

Table 2. Differences of assumed RAIU rate from analysis 2. In these data, 364.4 keV±20% was lower difference than 364.4 keV±10% as 10.38% and 9.46% per 1 cm

Thyroid Depth (cm)	0	1	2	3	4	5
Count Rate (284.3 keV±10%)	6149	6024	5900	5775	5650	5525
Uptake Rate (100%)	0.00%	-2.03%	-4.05%	-6.08%	-8.12%	-10.15%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-0.71%	-1.42%	-2.13%	-2.84%	-3.55%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-0.20%	-0.40%	-0.61%	-0.81%	-1.01%
Count Rate (364.4 keV±20%)	32796	29695	26593	23491	20389	17287
Uptake Rate (100%)	0.00%	-9.46%	-18.91%	-28.37%	-37.83%	-47.29%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-3.31%	-6.62%	-9.93%	-13.24%	-16.55%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-0.95%	-1.89%	-2.84%	-3.78%	-4.73%
Count Rate (364.4 keV±10%)	29256	26219	23181	20144	17106	14068
Uptake Rate (100%)	0.00%	-10.38%	-20.76%	-31.15%	-41.53%	-51.91%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-3.63%	-7.27%	-10.90%	-14.54%	-18.17%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-1.04%	-2.08%	-3.11%	-4.15%	-5.19%
Count Rate (637.1 keV±6.2%)	1523	1381	1240	1098	957	815
Uptake Rate (100%)	0.00%	-9.32%	-18.58%	-27.91%	-37.16%	-46.49%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-3.26%	-6.50%	-9.77%	-13.01%	-16.27%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-0.93%	-1.86%	-2.79%	-3.72%	-4.65%

효 갑상선 깊이에 따른 오차를 상대적으로 줄이기 위해서는 $\pm 20\%$ 의 관심영역의 설정이 더 적합해 보인다. 갑상선 섭취율이 35%라고 가정할 때, 364.4 keV $\pm 20\%$ 에너지 관심 영역의 1 cm 당 오차는 -3.31%로 예측되었고, 10%라고 가정할 때, 1 cm 당 오차는 -0.95%로 1% 미만의 오차를 보였다. 이는 갑상선 기능 항진증 등으로 갑상선 섭취율이 상승된 환자에게 다음과 같은 오류가 더 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

3. 검출기-목 표면 간 거리가 고정 될 때의 계수율의 변화

계수율을 일원배치 분산분석과 Mann-Whitney test로 다

중비교한 결과, 25 cm의 Levene 통계량 유의수준이 364.4 keV $\pm 20\%$, 364.4 keV $\pm 10\%$, 637.1 keV $\pm 6.2\%$ 에너지 관심 영역에서 $p \geq 0.05$ 으로 귀무가설이 기각되지 못하여 등분산 가정을 만족할 수 있었으나, 284.3 keV $\pm 10\%$ 영역의 Levene 통계량 유의수준은 $p < 0.01$ 으로 귀무가설이 기각되어 등분산 가정을 만족하지 못하였다. 따라서 비모수적 통계방법인 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney test로 분석하였다. 통계 분석 결과 모든 에너지 영역에서 팬텀이 없는 상태의 계수율과, 팬텀으로 유효 갑상선 깊이가 1 cm 적용한 계수율은 유의할 만한 차이가 있는 것으로 보여졌다($p < 0.01$) (Table 3). 또한 364.4 keV $\pm 10\%$ 에너지 관심영역에서는 유효 갑상선 깊이 1 cm 당 계수율의 변화가 모두 유의할 만한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 364.4 keV $\pm 20\%$ 영

Table 3. ANOVA multiple comparison of count rates upon 364.4 keV $\pm 10\%$ energy ROI (significance probability of Levene test=0.760)

(I) Thyroid Depth (cm)	(J) Thyroid Depth(cm)	N	Mean difference (I-J)	Standard error	Significant level	95% confidence interval	
						Lower bound	Upper bound
0	1	30	2389.100*	72.600	.000	2183.13	2595.07
	2	30	2745.367*	72.600	.000	2539.40	2951.33
	5	30	8854.867*	72.600	.000	8648.90	9060.83
1	0	30	-2389.100*	72.600	.000	-2595.07	-2183.13
	2	30	356.267*	72.600	.000	150.30	562.23
	5	30	6465.767*	72.600	.000	6259.80	6671.73
2	0	30	-2745.367*	72.600	.000	-2951.33	-2539.40
	1	30	-356.267*	72.600	.000	-562.23	-150.30
	5	30	6109.500*	72.600	.000	5903.53	6315.47
5	0	30	-8854.867*	72.600	.000	-9060.83	-8648.90
	1	30	-6465.767*	72.600	.000	-6671.73	-6259.80
	2	30	-6109.500*	72.600	.000	-6315.47	-5903.53

Table 4. ANOVA multiple comparison of count rates upon 364.4 keV $\pm 20\%$ energy ROI (significance probability of Levene test=0.938)

(I) Thyroid Depth (cm)	(J) Thyroid Depth (cm)	N	Mean difference (I-J)	Standard error	Significant level	95% confidence interval	
						Lower bound	Upper bound
0	1	30	2008.867*	79.852	.000	1782.33	2235.41
	2	30	1864.133*	79.852	.000	1637.59	2090.67
	5	30	7641.900*	79.852	.000	7415.36	7868.44
1	0	30	-2008.867*	79.852	.000	-2235.41	-1782.33
	2	30	-144.733	79.852	.354	-371.27	81.81
	5	30	5633.033*	79.852	.000	5406.49	5859.57
2	0	30	-1864.133*	79.852	.000	-2090.67	-1637.59
	1	30	144.733	79.852	.354	-81.81	371.27
	5	30	5777.767*	79.852	.000	5551.23	6004.31
5	0	30	-7641.900*	79.852	.000	-7868.44	-7415.36
	1	30	-5633.033*	79.852	.000	-5859.57	-5406.49
	2	30	-5777.767*	79.852	.000	-6004.31	-5551.23

Table 5. ANOVA multiple comparison of count rates upon 637.1 keV±6.2% energy ROI (significance probability of Levene test=0.117)

(I) Thyroid Depth (cm)	(J) Thyroid Depth (cm)	N	Mean difference (I-J)	Standard error	Significant level	95% confidence interval	
						Lower bound	Upper bound
0	1	30	139.467*	19.013	.000	85.53	193.41
	2	30	172.333*	19.013	.000	118.39	226.27
	5	30	381.667*	19.013	.000	327.73	435.61
1	0	30	-139.467*	19.013	.000	-193.41	-85.53
	2	30	32.867	19.013	.397	-21.07	86.81
	5	30	242.200*	19.013	.000	188.26	296.14
2	0	30	-172.333*	19.013	.000	-226.27	-118.39
	1	30	-32.867	19.013	.397	-86.81	21.07
	5	30	209.333*	19.013	.000	155.39	263.27
5	0	30	-381.667*	19.013	.000	-435.61	-327.73
	1	30	-242.200*	19.013	.000	-296.14	-188.26
	2	30	-209.333*	19.013	.000	-263.27	-155.39

Table 6. Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test of count rates upon 284.3 keV±10% energy ROI

(I) Thyroid Depth (cm)	(J) Thyroid Depth (cm)	N	Mann-Whitney's U	Wilcoxon's W	Z	Approximate significant level
0	1	30	.000	465.000	-6.653	.000
	2	30	.000	465.000	-6.653	.000
	5	30	.000	465.000	-6.653	.000
1	0	30	.000	465.000	-6.653	.000
	2	30	.000	465.000	-6.653	.000
	5	30	32.000	497.000	-6.180	.000
2	0	30	.000	465.000	-6.653	.000
	1	30	.000	465.000	-6.653	.000
	5	30	32.000	497.000	-6.180	.000
5	0	30	.000	465.000	-6.653	.000
	1	30	32.000	497.000	-6.180	.000
	2	30	32.000	497.000	-6.180	.000
Kruskal-Wallis test statistic						.000

역과 637.1 keV±6.2% 영역에서는 유효 갑상선 깊이 1 cm 과 2 cm의 계수율 간의 유의확률이 각각 $p=0.354$, $p=0.397$ 로 $p<0.05$ 를 만족하지 못하므로, 유의할 만한 차이가 있다고 할 수 없었다(Table 4~5). 284.3 keV±10% 에너지 관심영역의 Kruskal-Wallis test에서 모든 유효 갑상선 깊이 간 갑상선 계수율의 근사유의확률은 $p<0.01$ 으로 귀무가설이 기각되어 유의할 만한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 6). Mann-Whitney test에서도 유효 갑상선 깊이 1 cm 당 계수율에 유의할 만한 차이가 있는 것으로 분석되었다($p<0.01$).

유효갑상선 깊이에 따른 계수율을 선형 회귀분석한 결과에서는 364.4 keV±10%, 364.4 keV±20%, 637.1 keV±6.2% 에너지 관심영역에서 깊이가 깊어짐에 따라 계수율은 낮아지는

것으로 분석되었다($R^2 \geq 0.7399$). 유일하게 284.3 keV±10% 에너지 관심영역의 경우는 깊이가 깊어짐에 따라 계수율이 증가하는 모습을 보였다($R^2=0.6349$) (Fig. 4). 본 선형 회귀식을 바탕으로 결과 2에서와 같이 유효 갑상선 깊이 0 cm 부터 5 cm까지의 예상 계수율과 예상 갑상선 섭취율을 얻었다(Table 7). 갑상선 섭취율을 100%라고 가정할 때 모든 에너지 관심영역에서 유효 갑상선 깊이 1 cm 당 5.09% 이상의 갑상선 섭취율 오차가 나는 것으로 계산되었다. 364.4 keV±10% 에너지 관심영역에서 최고 오차인 -6.42%, 364.4 keV±20% 에너지 관심영역에서 최저 오차인 -5.09%가 예측되었다.

Table 7. Differences of assumed RAIU rate from analysis 3. In these data, 364.4 keV±20% was lower difference than 364.4 keV±10% as 5.09% and 6.42% per 1 cm

Thyroid Depth (cm)	0	1	2	3	4	5
Count Rate (284.3 keV±10%)	6286	6615	6945	7274	7603	7933
Uptake Rate (100%)	0.00%	+5.23%	+10.48%	+15.72%	+20.95%	+26.20%
Uptake Rate (35%)	0.00%	+1.83%	+3.67%	+5.50%	+7.33%	+9.17%
Uptake Rate (10%)	0.00%	+0.52%	+1.05%	+1.57%	+2.10%	+2.62%
Count Rate (364.4 keV±20%)	33597	31886	30175	28464	26753	25042
Uptake Rate (100%)	0.00%	-5.09%	-10.19%	-15.28%	-20.37%	-25.46%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-1.78%	-3.56%	-5.35%	-7.13%	-8.91%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-0.51%	-1.02%	-1.53%	-2.04%	-2.55%
Count Rate (364.4 keV±10%)	30044	28116	26187	24259	22331	20402
Uptake Rate (100%)	0.00%	-6.42%	-12.84%	-19.26%	-25.67%	-32.09%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-2.25%	-4.49%	-6.74%	-8.99%	-11.23%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-0.64%	-1.28%	-1.93%	-2.57%	-3.21%
Count Rate (637.1 keV±6.2%)	1542	1462	1382	1302	1221	1141
Uptake Rate (100%)	0.00%	-5.19%	-10.38%	-15.56%	-20.82%	-26.01%
Uptake Rate (35%)	0.00%	-1.82%	-3.63%	-5.45%	-7.29%	-9.10%
Uptake Rate (10%)	0.00%	-0.52%	-1.04%	-1.56%	-2.08%	-2.60%

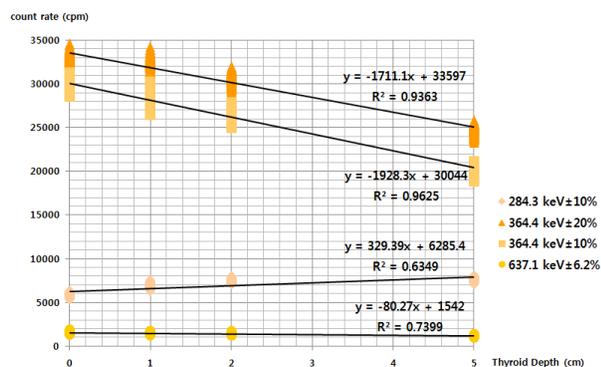


Fig. 4. Every change of count rate upon depth appears decreased line on Linear Regression, but the case of 284.3 keV±10% energy ROI increased only.

고찰

유효 갑상선 깊이가 깊어짐에 따라 갑상선 감쇠와 계수율에 오류가 생기는 것은 Allen F. Reid 등에 의해 이미 알려진 사실이다.⁸⁾ 문연수 등에 따르면 한국인 갑상선 기능 항진증 환자의 갑상선이 정상인 갑상선에 비해 우엽의 장축이 최대 2.16±1.26 cm, 폭 1.11±1.27 cm, 좌엽의 장축 2.61±2.56 cm, 폭 4.61±1.33 cm가 더 거대한 것으로 나타났다.⁹⁾ 이는 갑상선의 체적이 증대되며 유효 갑상선 깊이를 증가시킬 수 있음을 의미한다. 뿐만 아니라 대부분의 갑상선 기능 항진증이 갑상선 섭취율의 상승과 연관되어 있으므로, 갑상선 섭취율이 상대적으로 상승하는 질병에 대한 오류도 자연히 증가됨을 알 수 있다. 또한 이는 단순히 갑

상선 섭취율 검사에 오류를 일으키는 것뿐만이 아니라 갑상선 섭취율은 다시 갑상선 기능 항진증 환자의 방사성 동위원소 치료용량의 결정에 사용되는 것을 고려한다면, 이는 다시금 재오류를 일으킬 수 있다고 생각된다.¹⁰⁾ 이와 같은 오류를 줄이기 위해서는 선원을 투여하기 전 검출기-선원 간 거리를 변화시켜주거나, 투여한 이후에 검출기-목 표면 간 거리를 변화시켜주거나, 혹은 섭취율이 측정된 이후 Correction Factor를 곱하여 변환하는 방법을 사용하는 것이 유용할 것이다.¹¹⁾ 하지만 유효 갑상선 깊이와 선원-목 표면 간 거리와의 관계식 형성은 팬텀 실험을 통한 다중회귀식 및 임상 실험 자료 등이 필요하기에 다양한 연구가 필요한 상태이다. 따라서 본 실험은 거리로 인한 갑상선 감쇠와 유효 갑상선 깊이가 현재 갑상선 섭취율에 어떠한 영향을 미치고, 이로 인해 발생하는 오류를 어떻게 수정할 수 있을 것인가를 고찰하고자 하였다.

유효 갑상선 깊이가 깊어짐에 따라 발생하는 계수율의 오차는 Fig. 3의 플래토우의 포화현상을 이용한다면, 검출기-갑상선 간 거리를 늘림으로써 일부 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 검출기-선원 간 거리가 증가함에 따라 변동계수가 증가하는 현상이 관측되므로 가장 낮은 오차 및 증가율을 보이는 364.4 keV±10%, 364.4 keV±20% 영역의 사용이 권장되며, 검출기-선원 간 거리도 ACR, SPR, SNM의 공동 가이드라인에서 권고하는 30 cm까지로 제한하여 신중히 사용될 필요가 있다. 또한 환자의 목 표면을 계측 지점으로 계측하는 경우에 유효 갑상선 깊이로 인한 오류를 줄이기 위해서는, Table 2의 결과와 같이 ¹³¹I의

주 에너지피크가 아닌 284.3 keV±10% 영역을 유효 갑상선 깊이가 깊은 환자에게 응용한다면 다른 에너지 관심영역을 적용하는 것에 비해 상대적으로 낮은 오차를 보일 것으로 보인다. 하지만 다른 에너지 피크(peak)에 비해 낮은 에너지이므로 나타나는 감마선 감쇠와 산란선의 영향이 계측에 어떠한 영향을 주었을 지를 가늠하기 힘든 점, 넓은 반치폭과 높은 변동계수가 결과적으로 더 큰 오류를 줄지 알 수 없다는 점을 고려한다면 차후 연구가 더 필요하다고 생각된다. 결과 3의 일원배치 분산분석의 결과는 환자의 갑상선 깊이를 예측하여 측정하더라도, 목 전면부로 인한 감마선 감쇠의 영향으로 계수에 오차가 생길 가능성이 있음을 시사한다. 하지만 갑상선 섭취율을 예측한 Table 7의 오차는 결과 2의 예상 갑상선 섭취율의 오차보다 대부분 낮은 것을 알 수 있었다. 이는 깊이를 예측하여 측정하는 방법이 효과적임을 시사한다. 다만, 결과 3의 284.3 keV±10% 영역의 오차는 오히려 결과 2에서보다 증가하는 모습을 보인다. 또한 Fig.5의 선형 회귀분석 결과에서도 유일하게 284.3 keV±10% 영역에서 깊이가 깊어짐에 따라 계수율이 증가하는 모습을 보였다. 이 현상은 상술된 바와 같이 저 에너지 영역에서의 다른 에너지 산란선의 간섭에 따른 영향으로 생각되어진다. 유효 갑상선 깊이 1 cm과 2 cm 간의 계수율 검정은 364.4 keV±20% 영역과 637.1 keV±6.2%에서 유의할 만한 차이를 보이지 않았다. 이는 유효 갑상선 깊이 0 cm과 1 cm 간 계수율 차이는 상대적으로 높고, 1 cm 지점부터 2 cm 간 계수율 차이는 상대적으로 낮음을 의미한다. 이는 방사선 투과율과 흡수체의 두께 간의 공식에 따라 발생하는 현상으로, 유효 갑상선 깊이가 깊어수록 깊이 1 cm 당 계수율의 오차가 줄어들어 예상할 수 있다.¹²⁾ 선형 회귀 분석을 통한 결과 3의 갑상선 섭취율 예측 결과에서, 364.4 keV±20% 영역에서 최저 오차인 -5.09%가 예측되었다. 유효 갑상선 깊이로 인한 감쇠에 따른 오차를 상대적으로 줄이기 위해서는 364.4 keV±10% 영역보다 364.4 keV±20% 영역이 더 적절할 것으로 사료된다.

그러나 본 연구에서는 감마선 감쇠가 흡수체 내에서 상호작용을 피하는 좁은 선속의 측정실험이 아님으로 발생하는 오류와 핵붕괴의 무작위 과정(random process)에 따른 통계적 오차,¹²⁾ 상대적으로 적은 표본 수로 인한 오차, 실험 과정에서 생기는 일부 거리 변동의 오류가 있음을 고려해야 하고, 갑상선 체적을 점 선원으로 일괄 적용하고, 그에 따른 질량흡수계수를 고려하지 않은 점 등이 제한점으로 생각된다. 또한 Fig. 5의 회귀분석도 물리학적으로 방사선 투과율과 흡수체 두께 간의 공식을 적용하여야 하나, 모형

을 단순화하여 선형 회귀분석으로 계수율을 예측한 부분도 일부 오류를 발생시켰을 수 있음을 밝힌다.

결론

본 연구는 방사성 요오드 갑상선 섭취율이 증가함에 따라, 유효 갑상선의 깊이가 깊어짐에 따라, 검출기-갑상선 간 거리가 가까워짐에 따라, 부적절한 에너지 관심영역의 설정에 따라 측정의 오차가 커짐을 증명하였다. 따라서 방사성 요오드 투여 이전에 환자의 갑상선 초음파 혹은 CT 사진을 확보하여 대략적인 환자의 갑상선 깊이를 확인하고, 그에 따라 투약 전 표준계수 측정 시 환자의 갑상선 깊이에 맞는 측정 거리 혹은 목 팬텀 두께를 적용하여 측정하는 것이 갑상선 섭취율 오차를 줄이는데 유용할 것으로 생각된다. 또한 갑상선 깊이에 따른 오차는 갑상선 깊이에 따른 보정계수 적용, 364.4 keV±20% 에너지 영역 설정, 디텍터와 선원과의 거리를 연장하였을 때 감소시킬 수 있다고 생각된다.

요약

방사성 요오드 갑상선 섭취율은 거대갑상선 환자의 경우 그 체적에 의한 유효 갑상선 깊이가 깊어짐으로 인한 기하학적 변동이 있는 것이 사실이다. 본 연구는 방사성 요오드 갑상선 섭취율에 있어 검출기와 선원 간 거리와 유효 갑상선 깊이에 따른 기하학적 요인의 영향을 고찰하고자 하였다. ¹³¹I 370 kBq 선원을 검출기로부터 거리를 20 cm부터 30 cm까지 1 cm 간격으로 변화시키며 Captus 3000 thyroid uptake system(Capintec, NJ, USA)으로 측정하였다. 유효 갑상선 깊이를 재현하기 위해 목 팬텀을 이용하여 팬텀 내 선원의 깊이를 1 cm, 2 cm, 5 cm으로 변화시키며 같은 방법으로 측정하였다. 실험 결과, 곡선추정 회귀분석 결과 모든 실험군이 거듭제곱곡선에 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다($R^2 \geq 0.915$). 그러므로 검출기-선원 간 거리가 20 cm보다 30 cm에서 오차가 크게 감소됨을 예상할 수 있다. 모든 실험군에서 팬텀을 쓰지 않았을 때와 유효 갑상선 깊이가 1 cm이 적용되었을 때의 계수율이 서로 유의할 만한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 선형회귀분석 결과 깊이에 따른 계수율의 변화는 모두 감소되는 것으로 나타났다. 284.3 keV ± 10% 영역에서 깊이에 따른 계수율의 변화는 증가되는 것으로 나타났다. 이 회귀식을 통해 환자의 예상 갑상선 섭취율을 산출해 보았을 때, 364.4

keV±10%에서 1 cm 당 -6.42%, 364.4 keV±20%의 영역에서 -5.09%의 더 낮은 오차를 보였다. 또한 거리에 따른 계수율의 변동계수는 모든 실험군에서 선형으로 증가되는 것으로 나타났다. 그 중 364.4 keV±20%, 364.4 keV±10% 영역은 비교적 낮은 변동계수와 증가폭을 보였다. 곧, 유효 갑상선 깊이에 따른 오차를 줄이기 위해서는 364.4 keV±20%의 영역의 사용이 더 적절할 것으로 보인다. 그러므로 갑상선 깊이에 따른 오차는 갑상선 깊이에 따른 보정계수 적용, 364.4 keV±20% 에너지 영역 설정, 디텍터와 선원과의 거리를 연장하였을 때 감소시킬 수 있다고 생각된다.

REFERENCES

1. Hamilton, JG, Soley MH. Studies in iodine metabolism by the use of a new radioisotope of iodine. *AJ Physiology* 1939; 127:557.
2. Roberts HS, A Evans RD. Radio-active iodine as an indicator in the study of thyroid physiology. *Proc Soc Exper Biol Med* 1938;38:510.
3. IAEA. Consultant meeting on the calibration of thyroid radio-iodine uptake. *Brit J Radial* 1962;35:205.
4. Richard R. Grayson MD. Factors which influence the radio-active iodine thyroidal uptake. *The American Journal of Medicine* 1960;28:397-415.
5. Balon HR, Silberstein EB, et al. Society of Nuclear Medicine procedure guideline for thyroid uptake measurement. version.3.0. SNM 2006;1-4.
6. Schulz AG, Rollo FD. A method for measuring radioiodine uptake which corrects for thyroid depth. *J Nucl Med* 1970;11: 508-513.
7. 新居光廣, 提直葉, 上野山文男. 距離逆二乗則と線質の關係. *日本放射線技術學會31回總會*.1977;15.
8. Allen F. Reid and Jeanette A. Sorenson. Effective thyroid depth and compensating measurements for iodine uptake determination. 1952;58:390-392.
9. Ern Soo Moon, Yoh Han Park, et al. A clinical study on 125I T3 renin uptake rate and serum thyroxin in hyperthyroidism. *Kor Nucl Med Mol Imaging* 1975;12:23-31.
10. Marcel PM, Stokkel, Daria Handkiewicz Junak, et al. EANM procedure guidelines for therapy of benign thyroid disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010;37:2218-2228.
11. Jentzen W, Gorges R, et al. Influence of various geometric factors on the iodine-131 uptake measurement for solitary thyroid nodules. *Nucl Med Comm* 2008;29:398-404.
12. Lee SY, *Radiation Detection and Measurement*. 2nd ed. Gijeon; 1991. p.108-112, 125, 347-349.
13. The calibration and standardization of thyroid radioiodine uptake measurements. *Int J Appl Radiat Isot* 1966;17:531-549.
14. Gillespie PJ, Keyes WI. An improved I.A.E.A. neck phantom for thyroid uptake series. *Br J Radiol* 1971;44:319-321.
15. Meier DA, Kaplan MM. Radioiodine uptake and thyroid scintiscanning. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2001;30: 291-313.