

Original article

^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 배후방사능 측정 위치에 따른 차이 및 일치도 분석

이왕희, 방사선사*, 이용기, 방사선사
길의료재단 가천대 길병원 핵의학과

Differences and Agreement by Background Measurement Site in ^{99m}Tc -Pertechnetate Thyroid Uptake

Wang-Hui Lee, Radiological Technologist*, Yong-Ki Lee, Radiological Technologist
Department of Nuclear Medicine, Gachon University Gil Medical Center, Incheon, Korea

*Corresponding Author: Wang-Hui Lee, Department of Nuclear Medicine, Gachon University Gil Medical Center. 21, Namdong-daero 774beon-gil, Namdong-gu, Incheon, 21565, Republic of Korea. Tel: +82-32-460-3310, E-mail: lwh840614@gilhospital.com

Abstract

Purpose: This study aimed to compare thyroid uptake values according to background measurement site (mid-thigh versus neck using a B-type filter) in ^{99m}Tc -pertechnetate thyroid uptake studies, evaluate the agreement between the two methods, and assess the influence of sex-related differences. **Materials and Methods:** A retrospective analysis was performed in 98 patients who underwent ^{99m}Tc -pertechnetate thyroid uptake studies. Background activity was measured at both the neck and mid-thigh under identical geometric conditions. Thyroid uptake values were calculated using each background method. Paired t-tests, Pearson correlation analysis, and Bland-Altman analysis were performed to compare the two methods. Sex-based differences in thyroid uptake values (thigh – neck) were additionally evaluated using an independent samples t-test. **Results:** Neck background activity measured using a B-type filter was significantly higher than mid-thigh background activity ($21,472.2 \pm 4,268.8$ cpm vs. $18,660.3 \pm 3,587.4$ cpm, $P < 0.001$). Thyroid uptake calculated using thigh background was also significantly higher than uptake calculated using neck background ($3.96 \pm 2.76\%$ vs. $3.74 \pm 2.73\%$, $P < 0.001$). Thyroid uptake values obtained using the two background measurement methods were correlated ($r = 0.994$, $P < 0.001$). Bland-Altman analysis demonstrated a mean bias of 0.223%, with 95% limits of agreement ranging from -0.358% to 0.804%. Female patients showed a tendency toward a larger difference in thyroid uptake values than male patients, although the difference was not statistically significant ($P = 0.121$). **Conclusion:** Although neck background measurement using a B-type filter resulted in significantly higher background counts and slightly different thyroid uptake values compared with mid-thigh measurement, the two methods demonstrated overall agreement. Nevertheless, mid-thigh background measurement may provide a more stable assessment by reducing the influence of adjacent thyroid-related structures. These findings suggest that mid-thigh background measurement may be useful for more consistent thyroid uptake evaluation in ^{99m}Tc -pertechnetate studies.

Keywords: ^{99m}Tc -pertechnetate, Thyroid uptake, Background activity, B-type filter, Nuclear medicine

서론

핵의학은 방사성 핵종의 성질을 이용하여 신체의 해부학적, 생리학적, 생화학적 상태를 진단 및 평가하고, 개봉 방사선원으로 치료하는 의학의 한 분야이다[1]. ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사는 갑상선 기능 평가를 위한 핵의학 검사 중 하나로, 정확한 배후방사능 측정은 섭취율 계산의 전제 조건이며, 배후방사능 측정의 정확성이 확보되어야 이를 기반으로 산출되는 섭취율 또한 신뢰할 수 있다[2-4].

국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA) 보고서에 따르면 배후방사능 측정 시 갑상선의 방사능 영향을 받지 않으면서 비특이적 방사선을 대표할 수 있는 부위를 선택하도록 권고하고 있으며, 검사 간 동일한 측정 위치를 일관되게 유지하는 것이 중요하다고 강조하고 있다[5].

^{131}I 을 이용하여 갑상선 섭취율을 검사하는 경우, 감쇠 및 산란의 영향을 최소화하기 위해 대퇴부에서 배후방사능을 측정할 것을 권고하고 있으며[6], 이는 유럽핵의학회(European Association of Nuclear Medicine, EANM), 미국 핵의학 및 분자영상학회(Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, SNMMI), 미국영상의학회(American College of Radiology, ACR) 등의 가이드라인에서도 공통적으로 제시되고 있다[7-9].

한편 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서는 대퇴부와 같이 갑상선으로부터 충분히 떨어진 부위에서 배후방사능을 측정하는 방법과 납 차폐체(B-type filter)를 이용하여 경부 주변의 갑상선 방사능을 차폐한 후 배후방사능을 측정하는 방법이 알려져 있으며, 실제 임상에서도 두 방법이 선택적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 차이는 기관별 배후방사능 측정 위치의 차이로 이어질 수 있으며, 이는 검사 결과의 재현성에 영향을 미칠 가능성이 있다[10-12].

선행 연구들에 따르면 경부에서 측정하는 배후방사능은 연부조직 두께, 지방층, 유방조직 등 개인의 해부학적 특성에 영향을 받을 수 있으며, 이는 감쇠 및 산란 변화에 의해 측정 계수의 변동성을 증가시키고 섭취율 계산의 편향을 유발할 수 있다고 보고되어 있다. 나아가 이러한 영향은 성별에 따른 체성분 차이와 관련될 가능성이 있다[10-11]. 그럼에도 불구하고 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 배후방사능 측정 위치에 따른 차이와 두 방법 간의 일치도를 체계적으로 비교한 연구는 제한적이며, 특히 두 방법 간의 일치도를 평가한 연구는 드문 실정이다.

본 연구는 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 배후방사능 측정 위치에 따른 섭취율 차이를 비교하고, 두 방법 간의 일치도를 평가하며, 성별에 따른 영향을 분석하고자 한다. 이를 통해 임상적으로 적절한 배후방사능 측정 위치에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2025년 10월 1일부터 12월 31일까지 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사를 시행한 환자를 대상으로 후향적으로 연구를 수행하였다. 전체 101명의 대상자 중 검사 자료가 불완전하여 섭취율 계산이 어려운 3명을 제외하고, 남성 32명, 여성 66명, 총 98명을 최종 분석 대상으로 선정하였다.

본 연구는 배후방사능 측정 위치에 따른 갑상선 섭취율 차이 및 일치도를 평가하기 위해 수행되었으며, 성별에 따른 갑상선 섭취율 차이값(대퇴부 섭취율 - 경부 섭취율)은 별도로 분석하였다.

본 연구는 가천대학교 생명윤리심의위원회에서 심의면제 대상으로 승인되었으며(IRB No. 1044396-202508-HR-163-01), 관련 윤리 규정을 준수하여 수행되었다.

2. 실험재료 및 방법

2. 1. 실험재료

갑상선 섭취율 측정을 위해 $2'' \times 2''$ NaI(Tl) 검출기가 장착된 Captus 4000e (Capintec Inc., USA)를 사용하였고(Fig. 1A), 투여 전 및 투여 후 계수 측정 시 갑상선의 기하학적 구조와 감쇠 조건을 재현하기 위해 Neck Phantom (Biodex Medical Systems, Inc., USA)을 사용하였다(Fig. 1B). 또한 갑상선에서 기인하는 감마선을 차폐하여 배후방사능을 측정하기 위해 두께 13 mm, 크기 11×11 cm의 차폐체를 적용하였다(Fig. 1C). 해당 필터는 경부 밀착을 고려하여 턱 접촉 부위가 라운드 형태로 설계되어 있다.

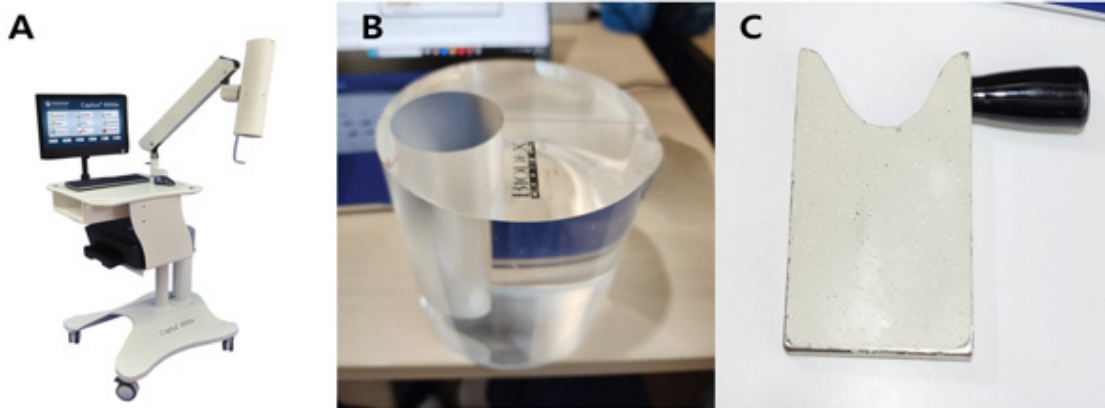


Fig. 1. Experimental materials used in this study included (A) the Captus 4000e thyroid uptake system, (B) the Thyroid Neck Phantom, and (C) the B-type filter.

2. 2. 실험방법

섭취율 검사를 위해 ^{99m}Tc -pertechnetate 약 14.8 MBq (400 μCi)를 정맥주사하였다. 투여 전 주사기를 Neck Phantom에 위치시켜 투여 전 계수 하였으며, 투여 후 동일한 기하학적 조건에서 잔여 방사능을 계수하여 잔여 계수를 획득하였다. 이때 주사기와 검출기 간 거리는 27 cm로 설정하였고, 계수 시간은 10초로 하였다. 검출기와 측정 부위 간 거리 및 계수 시간은 본 기관의 갑상선 섭취율 검사 표준 프로토콜에 따라 설정하였으며, 모든 계수 과정에서 동일한 거리와 계수 시간을 적용하여 기하학적 조건 및 측정 시간 차이에 따른 영향을 최소화하였다.

주사 후 20분이 경과한 후 경부에서 방사능을 계수하였고(Fig. 2A), 배후방사능은 경부와 대퇴부 두 부위에서 각각 계수하였다. 경부 배후방사능 계수 시에는 차폐체를 사용하여 갑상선에서 직접 방출되는 방사선을 차폐한 후 계수하였고(Fig. 2B), 대퇴부 배후방사능은 대퇴부 중앙에서 동일한 조건으로 계수하였다(Fig. 2C).



Fig. 2. Measurement positions for thyroid uptake calculation. All measurements were performed at a fixed distance of 27 cm with a counting time of 10 s. (A) Thyroid count measurement. (B) Neck background measurement using a B-type filter. (C) Mid-thigh background measurement.

2. 3. 갑상선 섭취율 계산

갑상선 섭취율은 갑상선 부위에서 측정된 총 계수값에서 배후방사능 계수를 감산하여 순 갑상선 계수를 산출한 후, 투여 전 계수와 투여 후 잔여 계수의 차이를 실제 투여 계수로 적용하여 계산하였다. 갑상선 섭취율 계산식은 Eq. 1과 같다.

$$\text{Uptake Rate (\%)} = \frac{\text{Thyroid Counts} - \text{Background Counts}}{\text{Pre Counts} - \text{Post Counts}} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

3. 통계분석

통계분석은 대퇴부와 경부에서 측정한 배후방사능을 비교하고, 각 배후방사능 측정 방법을 적용하여 계산한 갑상선 섭취율을 비교하기 위해 시행하였다. 연속형 변수는 평균±표준편차 및 범위로 제시하였다. 모수 검정 적용 전 연속형 변수의 정규성은 Shapiro-Wilk 검정을 이용하여 평가하였다. 대응분석에서는 두 측정값 간 차이값의 정규성을 추가로 확인하였으며, 정규성 가정을 만족하는 것으로 판단하여 모수 검정을 적용하였다.

두 측정 방법 간 차이는 대응표본 t-검정을 이용하여 분석하였다. 대응표본 t-검정의 효과크기는 Cohen's d를 이용하여 산출하였으며, 두 측정 방법 간 상관관계는 Pearson 상관분석을 통해 평가하였다. 갑상선 섭취율의 일치도는 Bland-Altman 분석을 이용하여 평가하였으며, 평균 차이와 95% 일치한계를 산출하였다. 또한 성별에 따른 차이를 평가하기 위해 갑상선 섭취율 차이값을 기준으로 남성과 여성 간 차이를 독립표본 t-검정을 이용하여 비교하였다.

통계분석은 IBM SPSS Statistics version 32.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 시행하였으며, P 값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결과

1. 배후방사능 비교

대퇴부에서 측정한 배후방사능은 $18,660.3 \pm 3,587.4$ cpm (range: 11,982–32,472), 경부에서 측정한 배후방사능은 $21,472.2 \pm 4,268.8$ cpm (range: 13,746–34,038)로 나타났다(Table 1).

대응표본 t-검정 결과, 경부 배후방사능은 대퇴부 배후방사능보다 유의하게 높았다($t = -7.137, P < 0.001$). 평균 차이는 $-2,811.9$ cpm 이었다. 또한 두 측정 방법 간 상관분석에서는 유의한 양의 상관관계를 보였다($r = 0.518, P < 0.001$). 효과크기 분석 결과, Cohen's d는 0.721로 나타났다(Table 2).

2. 갑상선 섭취율 비교

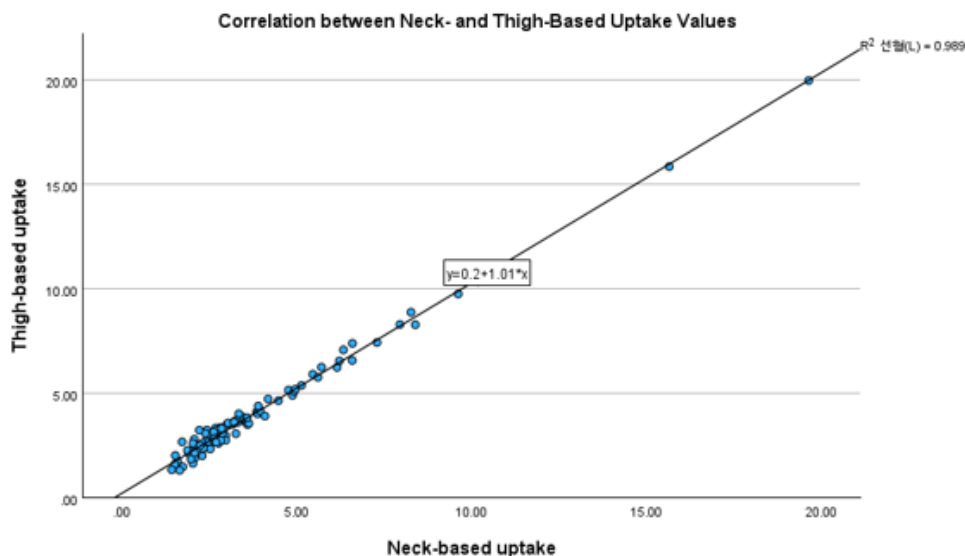
대퇴부 배후방사능을 적용하여 산출한 갑상선 섭취율은 $3.96 \pm 2.76\%$ (range: 1.30–19.96)이었으며, 경부 배후방사능을 적용한 경우 $3.74 \pm 2.73\%$ (range: 1.43–19.65)로 나타났다(Table 1). 두 측정값 간 차이값에 대한 Shapiro-Wilk 검정 결과, 정규성 가정을 만족하였다($W = 0.990, P = 0.681$).

대응표본 t-검정 결과, 두 방법 간 갑상선 섭취율은 유의한 차이를 보였으며($t = 7.450, P < 0.001$), 평균 차이는 0.223%였다. Pearson 상관분석에서는 두 방법 간 유의한 양의 상관관계가 확인되었고($r = 0.994, P < 0.001$), 선형회귀분석에서도 높은 선형성이 나타났다($R^2 = 0.989$, Fig. 3). 효과크기 분석에서 Cohen's d는 0.753으로 나타났다(Table 2).

Table 1. Comparison of background counts and thyroid uptake according to background measurement location

Variable	Thigh	Neck	P -value
Background (cpm)	18,660.3 $\pm$ 3,587.4 (11,982–32,472)	21,472.2 $\pm$ 4,268.8 (13,746–34,038)	<0.001
Thyroid uptake (%)	3.96 $\pm$ 2.76 (1.30–19.96)	3.74 $\pm$ 2.73 (1.43–19.65)	<0.001

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation. Statistical significance was assessed using paired t-test.

**Fig. 3.** Correlation between neck-based and thigh-based thyroid uptake values. Linear regression analysis demonstrated a positive correlation between the two measurement methods ($R^2 = 0.989$).**Table 2.** Effect size analysis between measurement methods

Variable	Cohen's d	95% CI	Interpretation
Background counts	0.721	0.497–0.942	Moderate-to-large
Thyroid uptake (%)	0.753	0.527–0.975	Moderate-to-large

3. 배후방사능 측정 방법 간 갑상선 섭취율 일치도 분석 (Bland-Altman)

Bland-Altman 분석 결과, 두 방법 간 평균 차이는 0.223%였고, 95% 일치한계는 -0.358%에서 0.804%로 나타났다. 대부분의 측정값이 일치한계 범위 내에 분포하여 두 방법 간 전반적으로 양호한 일치도를 보였다(Fig. 4).

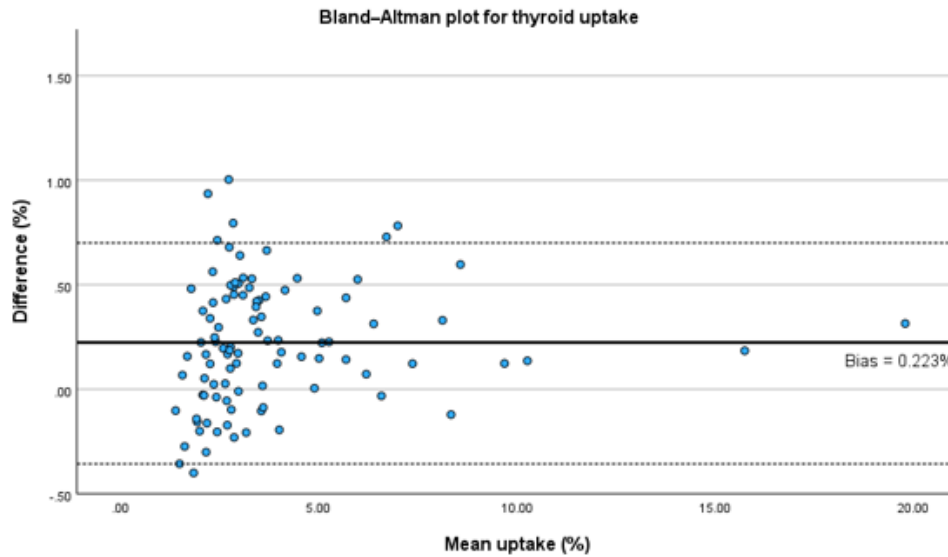


Fig. 4. Bland-Altman plot of the two methods. The central solid line represents the mean difference (bias = 0.223%), while the upper and lower dashed lines indicate the 95% limits of agreement (−0.358% to 0.804%).

4. 성별에 따른 갑상선 섭취율 차이 비교

성별에 따른 영향을 평가하기 위해 두 측정방법 간 갑상선 섭취율 차이값을 비교하였다. 여성군의 평균 차이값은 $0.255 \pm 0.287\%$ 였으며, 남성군은 $0.156 \pm 0.309\%$ 로 나타났다. 여성군에서 상대적으로 높은 차이를 보이는 경향이 있었으나, 두 군 간 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 3).

Table 3. Comparison of thyroid uptake difference according to sex

Sex	N	Uptake difference (%)	t	P-value
Female	66	0.255 ± 0.287		
Male	32	0.156 ± 0.309	1.565	0.121

고찰

본 연구에서는 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 배후방사능 측정 위치에 따른 차이를 평가하기 위해 대퇴부와 경부에서 얻어진 배후방사능을 비교하였다. 연구 결과, 경부에서 측정된 배후방사능은 대퇴부보다 유의하게 높은 값을 나타냈으며, 이를 적용하여 산출한 갑상선 섭취율 역시 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 그러나 두 방법 간 갑상선 섭취율은 높은 수준의 상관관계를 보였고($r = 0.994$), Bland-Altman 분석에서도 평균 차이가 0.223%로 작고 대부분의 측정값이 95% 일치한계 내에 분포하여 전반적으로 양호한 일치도를 나타냈다.

경부 배후방사능이 상대적으로 높게 측정된 원인으로는 갑상선 인접 조직에서 발생하는 산란선과 경부의 해부학적 구조에 의한 영향을 고려할 수 있다. 경부는 갑상선과 가까운 위치에 있기 때문에 차폐체를 이용하여 갑상선에서 직접 방출되는 감마선을 차폐하더라도, 주변 연부조직, 혈관, 침샘 등에서 기인하는 영향이 완전히 배제되기는 어렵다. 반면 대퇴부는 갑상선으로부터 충분히 떨어진 부위이므로 갑상선 유래 방사선의 영향을 상대적으로 적게 받을 가능성이 있다[10-11]. 이러한 특성은 국제원자력기구 및 기존 핵의학 교과서에서 대퇴부 배후방사능 측정을 권고한 배경과도 일치한다[5, 10-12].

본 연구에서 경부 배후방사능은 대퇴부에 비해 상대적으로 큰 표준편차를 보였다. 이는 경부 측정값이 개인별 연부조직 두께, 체형, 주변 해부학적 구조 등에 영향을 받을 수 있음을 시사한다. 반면 대퇴부는 경부에 비해 상대적으로 균일한 측정 조건을 제공할 수 있어 배후방사능 계수의 변동성이 작게 나타난 것으로 판단된다. 다만 본 연구는 반복 측정을 통해 측정 재현성을 직접 평가한 연구는 아니므로, 대퇴부 측정이 재현성 측면에서 우수하다고 단정하기에는 제한이 있다.

갑상선 섭취율의 경우 두 방법 간 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었으나, 평균 차이는 0.223%로 비교적 작은 수준이었다. 또한 Bland-Altman 분석에서도 좁은 범위의 일치한계를 보여 두 방법 간 임상적 차이는 크지 않을 가능성을 시사하였다. 따라서 두 방법 모두 임상적으로 적용 가능할 것으로 판단되지만, 보다 표준화된 배후방사능 측정이라는 측면에서는 변동성이 상대적으로 작은 대퇴부에서 배후방사능을 측정하는 것이 유용할 수 있다.

성별에 따른 분석에서는 여성군에서 남성군보다 두 측정방법 간 갑상선 섭취율 차이값이 상대적으로 높은 경향을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다. 이러한 결과는 경부 연부조직의 두께, 체형 차이, 유방 조직 등에 따른 감쇠 및 산란 영향 가능성을 시사할 수 있으나, 본 연구 결과만으로 성별에 따른 차이를 명확히 결론짓기는 어렵다.

본 연구는 단일기관에서 시행된 후향적 연구라는 제한점이 있으며, 반복 측정을 통한 재현성 평가와 실제 임상적 진단 정확도와 의 연관성은 평가하지 못하였다. 또한 연령, 체질량지수(BMI), 경부 연부조직 두께 등 대상자의 세부 신체적·임상적 특성을 충분히 반영하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 더 많은 표본을 대상으로 이러한 대상자 특성을 함께 고려하여, 배후방사능 측정 위치가 갑상선 섭취율 산출에 미치는 영향을 보다 정밀하게 평가할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 배후방사능 측정 위치에 따른 차이를 정량적으로 비교하고, 두 방법 간 일치도를 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구를 통해 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 배후방사능 측정 위치의 표준화를 위한 기초 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서 차폐체를 적용한 경부 배후방사능은 대퇴부에서 측정한 배후방사능보다 유의하게 높게 측정되었으며, 이를 적용하여 산출한 갑상선 섭취율 역시 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 그러나 두 방법 간 갑상선 섭취율은 높은 상관성과 양호한 Bland-Altman 일치도를 나타내어 전반적으로 유사한 결과를 나타냈다. 다만 대퇴부 배후방사능 측정은 갑상선 인접 조직의 영향을 상대적으로 덜 받고, 경부 측정에 비해 변동성이 작은 경향을 보여 보다 안정적이고 표준화된 배후방사능 평가에 유리할 가능성이 있는 것으로 판단된다. 따라서 ^{99m}Tc -pertechnetate 갑상선 섭취율 검사에서 대퇴부 배후방사능 측정은 보다 안정적이고 표준화된 섭취율 평가를 위한 방법으로 고려될 수 있다.

Acknowledgements

The author thanks Professor C.K. Kang of Gachon University for his administrative assistance with IRB approval and institutional coordination.

References

1. Lee WH, Ahn SM. Experiment to calculate the dosage of radiopharmaceutical products during the bone scan tests. J Korea Contents Assoc. 2015;15(4):357-62. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2015.15.04.357>
2. Koh CS. Nuclear medicine. 3rd ed. Seoul: Korea Medical Publishing Co.; 2008. p. 472.

3. Han BH. Analysis of the consistency relationship between thyroid uptake using ^{99m}Tc -pertechnetate and thyroid hormones. *J Korean Soc Radiol.* 2025;19(1):17-25. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2025.19.1.17>
4. Choi SJ, Min HS, Koh CS, Lee MH. A study on Tc-99m-pertechnetate thyroid uptake in various thyroid disease. *Korean J Nucl Med.* 1974;8(1):29-37. UCI: I410-ECN-0102-2009-510-005498970
5. International Atomic Energy Agency. Nuclear medicine physics: a handbook for teachers and students. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014.
6. Lee JS. Clinical thyroidology. Seoul: Korea Medical Publishing Co.; 1999. p. 101-4.
7. Stokkel MPM, Handkiewicz-Junak D, Lassmann M, Dietlein M, Luster M. EANM procedure guidelines for therapy of benign thyroid disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2010;37(11):2218-28. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-010-1536-8>
8. Silberstein EB, Alavi A, Balon HR, Clarke SE, Divgi C, Gelfand MJ, et al. The SNMMI practice guideline for therapy of thyroid disease with ^{131}I 3.0. *J Nucl Med.* 2012;53(10):1633-51. DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.105148>
9. American College of Radiology. ACR-SPR practice parameter for the performance of thyroid uptake and scintigraphy. Reston (VA): American College of Radiology; 2016. p. 1-8.
10. Mettler FA, Guiberteau MJ. Essentials of nuclear medicine imaging. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2019. p. 92-140.
11. Ziessman HA, O'Malley JP, Thrall JH. Nuclear medicine: the requisites. 5th ed. Philadelphia: Elsevier; 2020. p. 75-97.
12. Park SW, Ahn SM, Yoo KY, Lee MG, Jang SS, Lee KS, et al. Nuclear medicine science. 5th rev ed. Seoul: Daehak Seorim; 2014. p. 254.