



## 갑상선 고주파절제술의 원리와 실제적 이해

권하늬<sup>1,2</sup> · 천용일<sup>1,2</sup> · 신성찬<sup>1,2</sup>

부산대학교병원 이비인후과 및 의생명연구원,<sup>1</sup>  
부산대학교 의과대학 이비인후과학교실<sup>2</sup>

### Thyroid Radiofrequency Ablation: Principles and Practice

Ha-Nee Kwon<sup>1,2</sup>, Yong-Il Cheon<sup>1,2</sup>, Sung-Chan Shin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology and Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Busan, Korea  
<sup>2</sup>Department of Otorhinolaryngology, Pusan National University College of Medicine, Busan, Korea

#### ABSTRACT

Thyroid nodules are commonly encountered in clinical practice, and most are benign and asymptomatic. However, some nodules may cause pressure-related symptoms or cosmetic concerns, requiring therapeutic intervention. Radiofrequency ablation (RFA) has emerged as an ultrasound-guided, minimally invasive treatment option for appropriately selected patients with benign thyroid nodules. By inducing thermal coagulative necrosis within the target lesion, RFA promotes gradual volume reduction through tissue resorption and fibrosis, thereby improving symptoms and cosmetic concerns while preserving normal thyroid tissue. The clinical application of thyroid RFA has expanded beyond benign nonfunctioning nodules to include autonomously functioning thyroid nodules and selected cases of locoregional recurrent thyroid cancer, including cervical lymph node metastases. Nevertheless, thyroid RFA should not be regarded as a simple local ablative procedure. Appropriate patient selection, confirmation of benignity or accurate disease characterization, ultrasound-based assessment of the target lesion and adjacent critical structures, and a clear understanding of treatment goals are essential before the procedure. Safe and effective RFA requires knowledge of the principles of thermal ablation, proper electrode selection, local anesthesia, real-time ultrasound guidance, and standardized techniques such as the trans-isthmic approach, moving-shot technique, and hydrodissection. Post-procedural management is also important for detecting complications, evaluating treatment response, and determining the need for additional treatment. In this review, we summarize the basic principles, indications, pre-procedural evaluation, practical techniques, complications, follow-up strategies, and retreatment considerations of thyroid RFA. Familiarity with these principles and practical considerations may help clinicians apply thyroid RFA safely and effectively in appropriately selected patients.

**KEY WORDS:** Thyroid nodule; Radiofrequency ablation; Ultrasonography; Thermal ablation.

#### 서론

갑상선 결절은 임상에서 흔히 접하는 질환으로, 대부분은

양성 결절이며 특별한 증상이 없는 경우가 많아 정기적인 경  
관찰의 대상이 된다. 그러나 일부 결절은 크기가 증가함에  
따라 경부 압박감, 이물감, 연하 불편감, 음성 변화 등의 국소

Received: May 6, 2026 / Revised: May 31, 2026 / Accepted: June 1, 2026

Corresponding author: Sung-Chan Shin, Department of Otorhinolaryngology and Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Busan 49241, Korea

Tel: +82-51-240-7335, Fax: +82-51-246-8668, E-mail: shinsc0810@gmail.com

Copyright © 2026. The Busan, Ulsan, Gyeongnam Branch of Korean Society of Otolaryngology-Head and Neck Surgery.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

증상이나 미용적 문제를 유발할 수 있다.<sup>1-4)</sup> 이러한 증상을 동반한 양성 갑상선 결절에 대해서는 기존에 수술적 절제가 주로 시행되었으나, 수술은 전신마취, 경부 흉터, 수술 범위에 따른 갑상선 기능 저하 등의 부담을 동반한다.<sup>3,5)</sup> 갑상선 고주파절제술(radiofrequency ablation, RFA)은 이러한 환자군에서 고려할 수 있는 최소침습적 치료법으로, 정상 갑상선 조직을 최대한 보존하면서 결절 부피 감소, 증상 완화 및 미용적 개선을 유도할 수 있다.<sup>1,2,6)</sup> 여러 연구에서 RFA의 효과와 안전성이 보고되면서, 고주파절제술은 선별된 환자에서 수술적 치료의 대안으로 널리 사용되고 있으며, 최근에는 그 적용 범위도 점차 확대되고 있다.<sup>5,7-9)</sup>

그러나 고주파절제술은 모든 갑상선 결절에 일괄적으로 적용되는 치료가 아니며, 적절한 환자 선택, 표준화된 시술 과정, 합병증 예방 및 체계적인 추적관찰이 전제되어야 한다.<sup>6,10)</sup> 또한 갑상선은 반회후두신경, 기관, 식도 및 주요 혈관 구조물과 인접해 있어, 주변 해부학에 대한 충분한 이해가 시술의 안전성을 확보하는 데 중요하다.<sup>11-13)</sup> 따라서 고주파절제술의 임상적 효과와 안전성을 확보하기 위해서는 슬기뿐 아니라, 시술 전 평가와 시술 후 추적관찰을 포함한 체계적인 관리가 필요하다.<sup>1,6,14)</sup>

본 종설에서는 RFA의 실제 임상 적용에 필요한 기본 개념과 슬기적 고려사항, 합병증 및 시술 후 관리에 대해 정리하고자 한다. 이를 통해 고주파절제술을 보다 안전하고 효과적으로 시행하기 위한 실제적 관점을 제시하고자 한다.

## 본론

### 갑상선 고주파절제술의 원리

RFA는 초음파 유도하에 전극을 표적 결절 내부에 삽입하

고, 국소적인 열손상을 유도하는 치료법이다.<sup>6,15)</sup> 삽입된 전극을 통해 200-1,200 kHz의 고주파 전류가 전달되면 전극 주변 조직 내 이온 진동(ionic excitation)을 발생시키며, 이 과정에서 생성되는 마찰열 또는 저항열(frictional or resistive heat)이 주변 조직으로 전도되어 열소작을 유도한다.<sup>6)</sup> 조직 온도가 일반적으로 50°C-60°C 이상에 도달하면 세포 단백질 변성, 세포막 손상, 미세혈관 폐쇄가 발생하고, 결과적으로 응고 괴사(coagulative necrosis)가 유도된다.<sup>6,15)</sup> 이러한 열손상은 표적 결절을 즉시 제거하는 방식이 아니라, 결절 내부에 비가역적 손상을 유발한 뒤 시간이 지나면서 괴사 조직의 흡수와 섬유화를 통해 부피 감소가 일어나는 방식으로 나타난다.<sup>3,15)</sup> 따라서 고주파절제술의 효과는 시술 직후 병변의 형태 변화보다는 추적관찰에서의 결절 부피 감소, 증상 완화 및 미용적 개선으로 평가된다.<sup>1,2)</sup>

### 고주파절제술의 적응증과 시술 전 평가

고주파절제술은 모든 갑상선 결절에 적용되는 치료가 아니므로, 환자의 임상적 상황과 병변의 특성을 고려한 적절한 대상 선정이 중요하다. 주요 적응증과 시술 전 확인 사항은 Table 1에 요약하였다. 현재 가장 확립된 적응증은 증상 또는 미용적 문제가 있는 양성 갑상선 결절이다.<sup>1,4,6)</sup> 낭성 또는 낭성 우세 결절(cystic or predominantly cystic nodules)에서는 에탄올절제술(ethanol ablation, EA)이 일차 치료로 권고되며, 고주파절제술은 EA 후 증상이 지속되거나 재발한 경우, 또는 의미 있는 고형 성분이 남아 있는 경우에 고려할 수 있다.<sup>1,4,6)</sup> 자율기능성 갑상선 결절(autonomously functioning thyroid nodule, AFTN)과 국소 재발 또는 경부 림프절 전이 병변에서도 환자 상태와 병변 특성에 따라 선별적으로 고려할 수 있다.<sup>1,4,16)</sup> 한편, 여포성 종양(follicular neoplasm)

**Table 1.** Indications for thyroid radiofrequency ablation

Category	Indications	Pre-procedural evaluation
Benign thyroid nodule	Symptomatic nodules* or nodules causing cosmetic problems	≥2 benign results on FNA or CNB With highly specific benign US features†: ≥1 benign result on FNA or CNB may be sufficient
AFTN	Toxic or pre-toxic nodules in selected patients	≥1 benign result on FNA or CNB may be sufficient Thyroid scan is indicated when AFTN is suspected
Locoregional recurrence/cervical lymph node metastasis of thyroid cancer	Locoregional recurrence or cervical lymph node metastasis in patients who decline surgery or are at high surgical risk	Recurrent or metastatic disease should be confirmed by FNA, CNB and/or FNA washout thyroglobulin

\* Symptoms include pressure-related symptoms such as pain, dysphagia, foreign body sensation, discomfort, neck bulging, and cough.

† Highly specific benign US features include spongiform nodules or partially cystic nodules with intracystic comet-tail artifact.

AFTN: autonomously functioning thyroid nodule, CNB: core-needle biopsy, FNA: fine-needle aspiration, US: ultrasonography.

이나 불확정 결절(indeterminate nodule)은 수술 전 조직학적 확진에 한계가 있어 고주파절제술의 일차 치료 대상으로 보기는 어렵고, 저위험 미세유두갑상선암(papillary thyroid microcarcinoma)을 포함한 원발성 갑상선암에 대한 적용도 양성 결절과는 구분하여 별도의 기준에 따라 신중하게 판단해야 한다.<sup>1,8,17)</sup>

양성 갑상선 결절에서는 결절 자체가 아니라 결절로 인한 압박 증상(pressure-related symptoms)이나 미용적 문제가 치료 결정의 주된 기준이 된다. 시술 전 증상 정도와 미용적 불편감을 기록해 두면 치료 전후 변화를 객관적으로 비교하는데 도움이 된다.<sup>1,4)</sup> 또한 고주파절제술은 결절을 제거하여 최종 병리 진단을 얻는 치료가 아니므로, 시술 전 악성 가능성을 충분히 배제하는 과정이 중요하다. 이를 위해 초음파 소견과 세침흡인검사(fine-needle aspiration, FNA) 또는 중심부바늘생검(core-needle biopsy, CNB) 결과를 함께 고려해야 하며, 초음파상 악성 가능성이 배제되지 않거나 검사 결과가 불확실한 경우에는 추가적인 진단 평가 또는 수술적 치료 가능성을 우선 검토해야 한다.<sup>1,4,6)</sup>

병변의 특성을 파악하기 위해서는 초음파 평가가 필수적이다. 초음파를 통해 결절의 크기, 위치, 성상, 내부 혈류 및 주변 중요 구조물과의 관계를 확인하고, 세 방향 직경을 측정하여 결절 부피를 계산한다. 결절 부피는 일반적으로  $V = \pi abc / 6$  공식으로 산출하며, 여기서 a는 최대 직경, b와 c는 이에 수직인 두 직경을 의미한다. 이러한 정보는 고주파절제술의 적합성, 접근 경로, 시술 난이도 및 치료 계획을 판단하는데 필요하다.<sup>2,3,10,13)</sup> 병변 범위나 주변 구조물과의 관계가 초음파만으로 충분히 평가되지 않는 경우에는 CT 또는 MRI를 추가로 고려할 수 있다.<sup>1,2)</sup> 시술 전에는 병변 평가와 함께 환자의 전신 상태 및 출혈 위험도 확인해야 한다. 기본 혈액검사로 CBC, 응고검사(coagulation test), 갑상선 기능검사(thyroid function test) 등을 시행하며, 갑상선 기능검사에는 TSH, T3, free T4가 포함된다. TSH 억제 소견이 있거나 AFTN이 의심되는 경우에는 갑상선 스캔을 추가로 시행할 수 있다. 또한 항혈소판제 또는 항응고제 복용 여부와 출혈 위험을 확인하고 약제 조절이 필요한 경우에는 관련 진료과와 상의하여 결정한다.<sup>1,6,16)</sup>

국소 재발 또는 경부 림프절 전이 병변에 대한 고주파절제술은 양성 결절과 달리 국소 종양 조절 또는 증상 완화를 목적으로 선별적으로 시행된다. 이 경우 병변의 재발 또는 전이 여부를 FNA 또는 CNB로 확인하는 것이 원칙이며, 림프절 병변에서는 필요에 따라 FNA washout thyroglobulin 측정을 함

게 고려할 수 있다. 초음파만으로 병변 범위나 주변 중요 구조물과의 관계를 충분히 평가하기 어려운 경우에는 CT 또는 MRI가 도움이 될 수 있다.<sup>1,16)</sup>

마지막으로, 시술 전에는 고주파절제술의 치료 목표와 한계를 환자에게 충분히 설명해야 한다. 특히 치료 반응은 시술 후 추적관찰에서 점진적으로 평가된다는 점을 설명하고, 예상되는 증상 완화와 부피 감소 정도에 대해 환자가 충분히 이해하도록 해야 한다.<sup>1,4,6)</sup>

## 갑상선 고주파절제술의 실제 술기

### 시술 준비, 마취 및 전극 선택

RFA는 실시간 초음파 유도하에 시행되므로, 시술 전 안정적인 초음파 시야와 전극 조작을 확보할 수 있도록 환자 자세와 장비 배치를 적절히 정해야 한다. 환자는 일반적으로 앙와위에서 경부를 신전한 자세를 취하며, 결절의 위치와 주변 중요 구조물과의 관계를 확인한 뒤 전극 삽입 경로를 결정한다.<sup>4,13,15)</sup> 시술 부위 소독 후 피부 천자 부위와 갑상선 피막 주변에 1% lidocaine을 이용한 국소마취(perithyroidal lidocaine injection)를 시행하며, 시술 중에는 혈압, 맥박, 산소포화도 등 기본 활력징후를 모니터링한다. 전신마취나 깊은 진정은 시술 중 발생하는 통증이나 음성 변화와 같은 이상 반응의 조기 확인을 어렵게 할 수 있으므로, 환자와 의사소통이 가능한 상태에서 시술을 진행하는 것이 바람직하다.<sup>1,6,13,18)</sup>

전극은 병변의 크기와 주변 중요 구조물과의 관계를 고려하여 선택한다. RFA에는 주로 내부 냉각형 전극(internally cooled electrode)이 사용되며, 열을 발생시키는 전극 끝부분인 active tip의 길이에 따라 열전달 범위가 달라진다(Table 2). 실제 전극 선택과 출력 설정은 병변의 성상, 장비 종류, 술자의 경험, 환자의 통증 반응 및 실시간 초음파 소견을 종합하여 조정해야 한다.<sup>1,6,18)</sup> 단극성 전극(monopolar electrode)은 전기 회로 형성을 위해 접지패드(grounding pad)가 필요하므로, 시술 전 환자의 금속 물질을 제거하고 접지패드를 적절히 부착해야 한다. 임산부나 pacemaker 등 전기 장치를 가진 환자에서는 양극성 전극(bipolar electrode)을 고려할 수 있다.<sup>1,6,13,18)</sup>

### Hydrodissection

Hydrodissection은 초음파 유도하에 병변과 주변 중요 구조물 사이에 액체를 주입하여 안전거리를 확보하는 술기로, 시술 중 열손상을 예방하는 데 목적이 있다. 특히 표적 결절이 반회후두신경, 기관, 식도 또는 주요 혈관과 인접한 경우에 유

**Table 2.** Suggested electrode selection according to lesion size

Lesion size (cm)	Active tip length (cm)	Suggested RF power (W)*	Comment
Very small or high-risk lesions	0.38	5-15	Useful for recurrent tumors or lesions adjacent to critical structures
<2	0.5	10-30	Commonly used for small nodules or high-risk locations
2-3	0.7	20-40	Adjust according to nodule location and patient tolerance
3-4	1.0	30-80	Commonly used for medium-sized nodules
>4	1.5	50-90	Used cautiously when the nodule is close to critical structures

\* Suggested RF power should be adjusted according to active tip size, nodule characteristics, proximity to critical structures, patient tolerance, and operator experience.  
RF: radiofrequency.

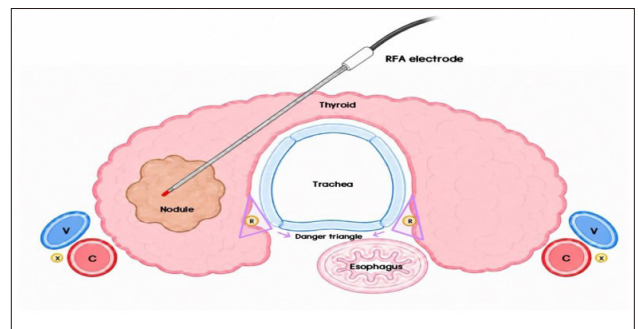
용하며, 재발암에서는 수술 후 섬유화와 해부학적 변형으로 인해 병변과 중요 구조물 사이의 안전거리 확보가 어려울 수 있어 소작 전 또는 시술 중 hydrodissection을 시행할 수 있다.<sup>16,18,19)</sup> 또한 hydrodissection은 중요 구조물 보호뿐 아니라 갑상선 피막이나 주변 연부조직으로 전달되는 열을 줄여 시술 중 통증을 완화하는 데도 도움이 될 수 있다.<sup>18,19)</sup>

주입액으로는 일반적으로 냉각 5% 포도당액(cold 5% dextrose water, D5W)이 사용된다. 생리식염수(normal saline)는 전기 전도성이 있어 고주파 전류가 주변 구조물로 전달될 가능성이 있는 반면, D5W는 전기 전도성이 낮아 열 차단막(thermal barrier)을 형성하는 데 유리하다.<sup>1,11,18)</sup> 시술 중에는 주입액의 분포를 실시간 초음파로 확인하면서 병변과 중요 구조물 사이에 충분한 분리 공간을 유지해야 하며, 경부에서는 주입액이 빠르게 퍼질 수 있어 반복 또는 지속 주입이 필요할 수 있다.<sup>13,18)</sup>

Hydrodissection을 시행하더라도 active tip의 위치와 주변 구조물과의 관계는 실시간으로 확인해야 하며, 시술 중 통증이나 음성 변화가 발생하면 hydrodissection 유지 여부를 재평가해야 한다.<sup>6,11)</sup>

**Trans-isthmic approach와 moving-shot technique**

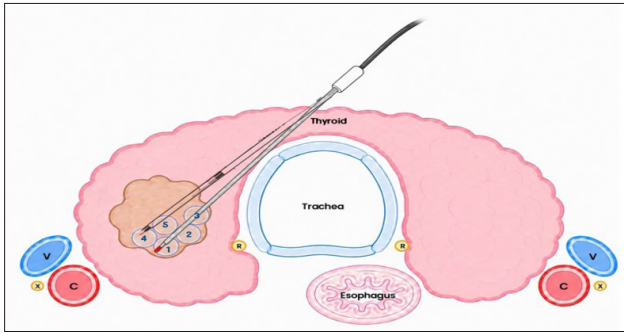
RFA의 표준 술기는 trans-isthmic approach와 moving-shot technique을 기본으로 한다. Trans-isthmic approach는 전극을 갑상선 협부(isthmus)를 통해 삽입한 뒤 표적 결절 방향으로 진입시키는 방법이다(Fig. 1).<sup>1,18)</sup> 전극이 정상 갑상선 실질을 통과한 후 결절에 도달하므로 시술 중 전극이 비교적 안정적으로 유지되며, 환자의 말하기, 기침 또는 삼킴에 따른 전극 움직임을 줄일 수 있다. 또한 전극 삽입 부위와 결절 사이에 정상 갑상선 조직이 위치하므로, 소작 중 발생하고



**Fig. 1.** Schematic illustration of the trans-isthmic approach for thyroid radiofrequency ablation. The electrode is advanced through the isthmus into the target nodule. V: internal jugular vein, C: common carotid artery, X: vagus nerve, R: recurrent laryngeal nerve.

온의 액체나 열이 피막 외부로 누출되는 것을 줄이는 데에도 도움이 된다. 전극의 전체 경로와 active tip의 위치를 실시간 초음파로 확인하기에 유리하다는 점도 이 접근법의 장점이다.<sup>13,15,18)</sup> 다만 병변 위치나 주변 구조물과의 관계에 따라 필요한 경우 lateral, longitudinal 또는 oblique approach도 선택할 수 있다.<sup>13)</sup>

Moving-shot technique은 결절 전체를 한 번에 소작(ablation)하는 것이 아니라, 결절을 여러 개의 작은 ablation unit으로 나눈 뒤 전극을 이동시키며 순차적으로 소작하는 방법이다(Fig. 2). 시술자는 초음파를 통해 결절을 3차원적으로 파악한 후, 전극 active tip을 먼저 결절의 가장 깊고 먼 부위(deep portion)에 위치시킨다.<sup>1,18,19)</sup> 이후 해당 부위에서 고에코 변화(hyperechoic change)가 확인되면 전극을 서서히 표층부(superficial portion) 방향으로 이동시키면서 다음 ablation unit을 소작한다. 이러한 deep-to-superficial 방식은 소작 중 발생하는 기포(microbubble)와 고에코 변화로 인한 초음파 시야 제한을 줄이고, 결절 전체에 보다 균일한 소작을 유도하는 데 도움이 된다.<sup>13,16,18)</sup>



**Fig. 2.** Moving-shot technique for thyroid radiofrequency ablation. The nodule is divided into multiple small ablation units, and the electrode is moved sequentially from the deep to the superficial portion of the lesion. V: internal jugular vein, C: common carotid artery, X: vagus nerve, R: recurrent laryngeal nerve.

**출력 조절과 시술 중 모니터링**

고주파 출력은 병변의 크기와 성상, 내부 혈류, 전극 active tip의 길이, 주변 중요 구조물과의 거리 및 환자의 통증 반응을 고려하여 조절한다. 일반적으로 낮은 출력에서 시작하여 active tip 주변의 고에코 변화가 적절히 나타나는지 확인하고, 반응이 불충분한 경우 단계적으로 출력을 높일 수 있다. 다만 피막 인접부나 중요 구조물과 가까운 부위에서는 과도한 열전달을 피하기 위해 낮은 출력으로 짧게 소작하고, 전극 위치를 자주 조정하는 것이 안전하다.<sup>6,13,20</sup>

시술 중 환자의 반응은 중요한 모니터링 지표이다. 갑작스러운 심한 통증, 기침, 음성 변화 또는 방사통이 발생하면 갑상선 피막 또는 주변 중요 구조물로 열이 전달되고 있을 가능성이 높다. 이러한 경우에는 즉시 에너지 전달을 중단하고, 전극 위치, 초음파 소견 및 hydrodissection 유지 여부를 재평가해야 한다. 필요 시 전극을 재위치시키거나 출력을 낮추고, 추가 국소마취 또는 hydrodissection을 시행한 뒤 시술을 재개할 수 있다.<sup>2,6,13,18</sup>

고에코 변화는 전극 주변 조직 내 기포와 열손상을 반영하는 보조 소견으로, 해당 부위에 열손상이 발생하고 있음을 시사한다. 그러나 그 자체만으로 충분한 소작 범위를 보장하지는 않으므로, 시술 중에는 active tip의 위치, 주변 구조물과의 거리, 초음파상 소작 범위, 환자의 증상 변화를 함께 확인하면서 출력과 소작 범위를 조절해야 한다.<sup>6,18</sup>

**시술 후 평가와 관리**

**합병증**

RFA는 비교적 안전한 시술로 알려져 있으나, 갑상선이 반회후두신경, 기관, 식도 및 주요 혈관 구조물과 인접해 있어

합병증의 가능성을 항상 염두에 두어야 한다.<sup>1,6,21</sup> 양성 결절에 대한 고주파절제술에서는 전체 합병증률과 주요 합병증률이 각각 2.11%, 1.27%로 보고되었으며, 재발 갑상선암에서는 병변 위치와 수술 후 해부학적 변화로 인해 합병증률이 더 높게 보고되었다.<sup>1,21</sup> 보고된 합병증 및 시술 관련 이상반응으로는 통증, 혈종 또는 출혈, 음성 변화, 피부 화상, 오심, 구토, 갑상선 기능 이상, 감염, 결절 파열 등이 있으며, 대부분은 일시적이고 보존적 치료로 호전된다. 그러나 신경 손상에 의한 음성 변화, 빠르게 커지는 혈종, 감염이나 결절 파열 등은 임상적으로 중요한 문제가 될 수 있으므로 조기 인지와 적절한 대응이 필요하다.<sup>20,21</sup>

시술 중 또는 시술 직후 발생하는 통증은 비교적 흔한 불편 증상이다. 심한 통증은 갑상선 피막 또는 주변 조직으로의 열 전달을 시사할 수 있으며, 이 경우 출력을 낮추거나 에너지 전달을 일시적으로 중단하고 전극 위치를 재평가해야 한다. 필요 시 추가 국소마취 또는 hydrodissection을 시행한 뒤 시술을 재개할 수 있다.<sup>4,6,18</sup> 혈종은 전극 삽입 과정에서 혈관 손상으로 발생할 수 있으며, 대부분 압박으로 조절된다. 하지만 혈종이 빠르게 커지거나 경부 종창, 호흡곤란이 동반되는 경우에는 기도 상태를 확인하고 즉각적인 처치를 고려해야 한다.<sup>1,19,20</sup>

음성 변화는 RFA에서 주의해야 할 주요 합병증 중 하나이다. 이는 반회후두신경 또는 미주신경의 열손상, 신경 주변 부종, 혈종에 의한 압박 등과 관련될 수 있다. 음성 변화의 보고 빈도는 전체적으로 낮지만, 재발암 치료에서는 병변이 신경이나 수술 후 섬유화 부위와 가까운 경우가 많아 더 주의가 필요하다.<sup>1,21</sup> 시술 중 음성 변화가 발생하면 즉시 에너지 전달을 중단하고 전극 위치와 주변 구조물과의 관계를 확인해야 한다. 필요한 경우 전극을 재위치시키거나 D5W 주입을 통해 신경 주변을 냉각·분리할 수 있다. 시술 후 음성 변화가 지속되는 경우에는 후두내시경을 통해 성대 운동성을 평가하고, 경과에 따라 이비인후과적 평가와 치료를 병행한다.<sup>6,11</sup>

결절 파열은 드물지만 시술 후 수일에서 수주 뒤 갑작스러운 경부 통증과 종창으로 나타날 수 있다. 대부분은 보존적 치료로 호전되지만, 감염이나 농양이 동반되는 경우에는 항생제, 배액 또는 수술적 치료가 필요할 수 있다. 따라서 환자에게 시술 후 심한 통증, 경부 종창, 발열, 음성 변화, 호흡곤란 등이 발생하면 즉시 내원하도록 설명해야 한다.<sup>1,19,20</sup>

**추적관찰과 치료 반응 평가**

시술 직후에는 초음파로 소작 부위와 주변 연부조직을 확인한다. 이때 gray-scale 및 color Doppler 초음파를 이용

하여 소작 영역, 잔여 혈류, 혈종, 피막 손상 및 주변 연부조직 부종 여부를 평가할 수 있다.<sup>1,4)</sup> 잔여 혈류가 확인되는 부위는 불완전 소작 영역을 시사할 수 있으며, 추적관찰에서 재생장(regrowth) 가능성이 있는 부위로 주의 깊게 관찰해야 한다. 필요한 경우 조영증강 초음파(contrast-enhanced ultrasound)를 이용하여 잔여 생존 조직(viable portion)을 보다 명확히 확인할 수 있다.<sup>1,10,14)</sup>

고주파절제술 후 치료 반응은 시술 직후 초음파 소견만으로 판단하기보다, 추적 초음파에서의 결절 부피 변화, 증상 및 미용 점수의 변화, 잔여 혈류 또는 재생장 여부를 종합하여 평가해야 한다.<sup>1,10,14)</sup> 추적관찰은 일반적으로 시술 후 1-3개월 사이에 초기 평가를 시행하고, 이후 6개월과 12개월에 치료 반응을 평가한다. 결절 부피 감소는 VRR(volume reduction rate)로 표시하며, VRR은 다음과 같이 계산한다.

$$VRR = \frac{[\text{초기 부피(Baseline volume)} - \text{추적 부피(Final volume)}]}{[\text{초기 부피(Baseline volume)}]} \times 100$$

일반적으로 주요한 부피 감소는 시술 후 6-12개월 사이에 관찰되며, 이후에는 결절이 안정적으로 감소 또는 유지되는지, 잔여 혈류나 주변부 재생장이 나타나는지에 따라 추적 간격을 조정한다.<sup>1,4,7)</sup>

재생장은 가장 작았던 결절 부피에 비해 다시 증가하는 양상으로 나타나며, 최저 부피 대비 50%를 초과하여 증가한 경우로 정의할 수 있다.<sup>4,14)</sup> 재시술은 증상이나 미용적 문제가 충분히 호전되지 않거나, VRR이 50% 미만으로 불충분한 경우, 또는 추적 초음파에서 잔여 생존 조직이나 주변부 재생장이 확인되는 경우 고려할 수 있다. 특히 큰 결절, 고형 성분이 많은 결절, 혈류가 풍부한 결절, 중요 구조물과 인접하여 변연부를 충분히 소작하기 어려웠던 결절에서는 한 번의 시술만으로 충분한 치료 반응을 얻기 어려울 수 있다. 재시술 여부는 결절 부피 감소율만으로 결정하기보다, 증상과 미용적 불편감의 변화, 잔여 혈류 또는 재생장 양상, 환자 선호도를 종합하여 판단해야 한다.<sup>4,6,14)</sup>

재생장이 뚜렷하거나 초음파 소견이 의심스러운 경우에는 단순한 치료 반응 부족으로만 판단해서는 안되며, 악성 가능성을 다시 평가해야 한다. 따라서 필요에 따라 재시술 전 FNA 또는 CNB를 반복하여 악성 가능성을 다시 평가하는 것이 바람직하다.<sup>4,22)</sup>

AFTN과 국소 재발 또는 경부 림프절 전이 병변에서는 치료 목표가 양성 비기능성 결절과 다르므로, 추적평가 역시 이

에 맞추어 조정해야 한다. AFTN에서는 결절 부피 감소뿐 아니라 갑상선 기능의 회복 여부가 중요한 치료 반응 지표가 되며, 필요에 따라 갑상선 기능 검사와 갑상선 스캔을 시행할 수 있다.<sup>1)</sup> 국소 재발 또는 경부 림프절 전이 병변에서는 단순한 부피 감소보다는 국소 종양 조절 여부가 중요하므로, 잔여 혈류 또는 조영 증강 여부, 혈청 thyroglobulin 및 anti-thyroglobulin antibody 변화, 추가 영상검사 결과를 종합하여 치료 반응을 판단해야 한다.<sup>1,16)</sup>

**결론**

RFA는 증상 또는 미용적 문제가 있는 양성 갑상선 결절에서 수술의 부담을 줄이면서 결절 부피 감소와 증상 개선을 기대할 수 있는 최소침습적 치료법으로 자리매김하고 있다. 그 임상적 가치는 수술을 단순히 대체하는 데 있는 것이 아니라, 환자의 임상 상황, 병변의 특성, 수술 위험도와 환자 선호를 종합하여 치료 선택지를 넓히는 데 있다.

고주파절제술을 안전하고 효과적으로 적용하기 위해서는 고주파 에너지의 원리, 초음파 기반 병변 평가, 갑상선 및 주변 경부 해부학, 표준화된 술기, 시술 후 변화에 대한 충분한 이해가 필요하다. 따라서 RFA는 단순한 국소 소작술이 아니라, 적절한 환자 선택부터 시술 후 추적관찰까지 포함하는 치료 과정으로 접근해야 한다. 선별된 환자에서 고주파절제술은 수술과 경과관찰 사이의 중요한 치료 선택지를 제공할 수 있으며, 향후 갑상선 결절 치료에서 환자 맞춤형 최소 침습 치료 전략의 한 축으로 활용될 것으로 기대된다.

**Acknowledgements**

Not applicable.

**Funding Information**

This work was supported by clinical research grant from Pusan National University Hospital in 2026.

**Conflicts of Interest**

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

**ORCID**

Ha-Nee Kwon, <https://orcid.org/0000-0002-6965-9589>  
Yong-Il Cheon, <https://orcid.org/0000-0003-0288-0542>

Sung-Chan Shin, <https://orcid.org/0000-0003-2329-0648>

### Author Contribution

Conceptualization: Kwon HN.

Data curation: Kwon HN.

Formal analysis: Kwon HN.

Methodology: Kwon HN, Cheon YI.

Validation: Cheon YI, Shin SC.

Investigation: Kwon HN.

Writing - original draft: Kwon HN.

Writing - review & editing: Kwon HN, Cheon YI, Shin SC.

### Ethics Approval

Not applicable.

### References

- Kim J, Baek JH, Lim HK, Ahn HS, Baek SM, Choi YJ, et al. 2017 Thyroid radiofrequency ablation guideline: Korean society of thyroid radiology. *Korean J Radiol* 2018;19(4):632-55.
- Na DG, Lee JH, Jung SL, Kim J, Sung JY, Shin JH, et al. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules and recurrent thyroid cancers: consensus statement and recommendations. *Korean J Radiol* 2012;13(2):117-25.
- Yeo CK. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodule. *Korean J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2014;57(3):151-4.
- Papini E, Monpeyssen H, Frasoldati A, Hegedüs L. 2020 European Thyroid Association Clinical Practice Guideline for the use of image-guided ablation in benign thyroid nodules. *Eur Thyroid J* 2020;9(4):172-85.
- Lim H, Cho SJ, Baek JH. Comparative efficacy and safety of radiofrequency ablation and microwave ablation in benign thyroid nodule treatment: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol* 2025;35(2):612-23.
- Sinclair CF, Baek JH, Hands KE, Hodak SP, Huber TC, Hussain I, et al. General principles for the safe performance, training, and adoption of ablation techniques for benign thyroid nodules: an American Thyroid Association statement. *Thyroid* 2023;33(10):1150-70.
- Cho SJ, Baek JH, Chung SR, Choi YJ, Lee JH. Long-term results of thermal ablation of benign thyroid nodules: a systematic review and meta-analysis. *Endocrinol Metab* 2020;35(2):339-50.
- Kim J. Application of radiofrequency ablation to thyroid cancer: past, present, and future. *J Korean Soc Radiol* 2023;84(5):999-1008.
- Kang SY, Jeong HE, Ahn HR, Youn HJ. Radiofrequency ablation for thyroid carcinoma. *J Surg Ultrasound* 2024;11(1):1-6.
- Mauri G, Pacella CM, Papini E, Solbiati L, Goldberg SN, Ahmed M, et al. Image-guided thyroid ablation: proposal for standardization of terminology and reporting criteria. *Thyroid* 2019;29(5):611-8.
- Chung SR, Baek JH, Choi YJ, Lee JH. Management strategy for nerve damage during radiofrequency ablation of thyroid nodules. *Int J Hyperth* 2019;36(1):203-9.
- Eom TI, Kim BS. Safety and technical efficacy of tumescent anesthesia in radiofrequency ablation for thyroid nodules close to the surrounding structure. *J Surg Ultrasound* 2019;6(1):20-6.
- Ahn D, Ahn H, Ham S. Surgeon-performed radiofrequency ablation for benign and malignant thyroid tumors. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2025;68(4):145-51.
- Sim JS. Clinical approach for thyroid radiofrequency ablation. *J Korean Soc Radiol* 2023;84(5):1017-30.
- Kim BS. Ultrasound (US)-guided ablation of thyroid nodules. *J Surg Ultrasound* 2023;10(1):14-23.
- Ha EJ, Lee MK, Baek JH, Lim HK, Ahn HS, Baek SM, et al. Radiofrequency ablation for recurrent thyroid cancers: 2025 Korean Society of Thyroid Radiology Guideline. *Korean J Radiol* 2025;26(1):10-28.
- Pace-Asciak P, Russell JO, Tufano RP. The treatment of thyroid cancer with radiofrequency ablation. *Tech Vasc Interv Radiol* 2022;25(2):100825.
- Park HS, Baek JH, Park AW, Chung SR, Choi YJ, Lee JH. Thyroid radiofrequency ablation: updates on

- innovative devices and techniques. *Korean J Radiol* 2017;18(4):615-23.
19. Baek JH, Jeong SY. Thermal ablation for thyroid nodules. In: Feingold KR, Adler RA, Ahmed SF, Anawalt B, Blackman MR, Chrousos G, et al., editors. *Endotext*. South Dartmouth, MA: MDText.com; 2000.
20. Baek JH, Lee JH, Sung JY, Bae JI, Kim KT, Sim J, et al. Complications encountered in the treatment of benign thyroid nodules with US-guided radiofrequency ablation: a multicenter study. *Radiology* 2012;262(1):335-42.
21. Chung SR, Suh CH, Baek JH, Park HS, Choi YJ, Lee JH. Safety of radiofrequency ablation of benign thyroid nodules and recurrent thyroid cancers: a systematic review and meta-analysis. *Int J Hyperth* 2017;33(8):920-30.
22. Shin JH, Seo M, Lee MK, Jung SL. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules: 10-year follow-up results from a single center. *Korean J Radiol* 2025;26(2):193-203.