



갑상선 유두미세암종에 대한 고주파절제술의 최신 지견

이민형^{1,2,3*} · 이진춘^{1,2,3*} · 성의숙^{1,2,3}

부산대학교 의과대학 이비인후과학교실,¹
양산부산대학교병원 이비인후과,²
양산부산대학교병원 의생명융합연구원³

Update on Radiofrequency Ablation for Papillary Thyroid Microcarcinoma

Minhyung Lee^{1,2,3*}, Jin-Choon Lee^{1,2,3*}, Eui-Suk Sung^{1,2,3}

¹Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University School of Medicine, Busan, Korea

²Department of Otorhinolaryngology, Pusan National University Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

³Research Institute for Convergence of Biomedical Science and Technology, Pusan National University Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

ABSTRACT

Papillary thyroid microcarcinoma (PTMC), defined as papillary thyroid carcinoma measuring 1 cm or less in greatest dimension, generally carries an excellent prognosis. However, the optimal management strategy remains a subject of clinical debate. Standard surgical treatment, typically thyroid lobectomy, carries risks of permanent hypothyroidism and recurrent laryngeal nerve injury, while active surveillance is associated with psychological burden and higher progression rates in certain patient populations. Ultrasound-guided radiofrequency ablation (RFA) has emerged as a promising minimally invasive alternative that addresses these limitations. This review comprehensively evaluates the clinical efficacy and safety of RFA for low-risk PTMC, based on recent meta-analyses, long-term cohort studies, and prospective clinical trials. Current evidence suggests that RFA achieves oncologic outcomes comparable to surgery while preserving thyroid function, minimizing complications, and improving quality of life in carefully selected patients.

KEY WORDS: Papillary thyroid microcarcinoma; Radiofrequency ablation; Minimally invasive treatment; Quality of life; Watchful waiting; Minimally invasive therapeutics.

서론

갑상선 유두미세암종(papillary thyroid microcarcinoma, PTMC)은 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 분류에 따라 최대 직경이 10 mm 이하인 유두암(papillary thyroid carcinoma, PTC)으로 정의된다.¹⁾ 갑상

선암은 전 세계적으로 내분비계 악성 종양 중 가장 높은 발생률을 보이며, 그 중 PTC가 전체의 약 85%를 차지한다.²⁾ 특히 PTMC는 초음파 기술의 발전과 세침흡인검사 및 중심부침생검의 광범위한 도입으로 인해 진단 빈도가 급격히 증가하였으며, 일부 국가에서는 전체 갑상선암의 절반 이상이 PTMC로 분류될 만큼 그 비중이 크다.³⁾ 그러나 PTMC의 10년 질환 특

Received: April 27, 2026 / Revised: May 11, 2026 / Accepted: June 16, 2026

* These authors contributed equally to this work.

Corresponding author: Eui-Suk Sung, Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University School of Medicine, Busan 50612, Korea

Tel: +82-55-360-2654, Fax: +82-55-360-2162, E-mail: sunges77@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.

이 생존율은 99.5%에 달할 만큼 예후가 매우 양호하여, 과잉 진단 및 치료에 대한 우려가 지속적으로 제기되어 왔다.⁴⁾

미국갑상선학회(American Thyroid Association, ATA) 2015년 가이드라인은 저위험 PTMC에 대해 갑상선엽절제술 또는 능동적 감시(active surveillance, AS)를 권고하였다.⁵⁾ 수술은 종양의 완전 제거를 위한 제일 확실한 치료 방법이나, 전신마취와 경부 절개를 동반하며 영구적 갑상선 기능 저하증(엽절제술 후 20%~30%), 되돌이 후두신경 손상(1%~3%), 일시적 또는 영구적 부갑상선 기능 저하증 등 다양한 합병증의 위험이 있다.⁶⁾ 또한 수술 후 흉터로 인한 미용적 문제는 환자의 삶의 질에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 반면 AS는 불필요한 수술을 피할 수 있다는 장점이 있으나, 암을 보유한 채 살면서 오는 지속적인 심리적 불안감이 크고, 5년 추적 기간 중 불안이나 암의 진행을 이유로 결국 수술을 선택하는 비율이 8.7%~32%에 달한다는 메타분석 결과가 보고되었다.⁷⁾ 특히 40세 미만의 젊은 환자, 남성, 그리고 사회적으로 활동적인 환자에서 암으로 진행률이 상대적으로 높아 AS의 광범위한 적용은 제한적인 것이 현실이다.⁸⁾

이러한 배경하에 초음파 유도하 고주파절제술(radiofrequency ablation, RFA)이 수술과 AS의 장점을 결합한 최소 침습적 대안으로 제시되고 있다. RFA는 외래에서 국소마취하에 시행할 수 있어 전신마취의 위험이 없으며, 갑상선 기능을 보존할 수 있고 고주파를 이용하여 종양을 제거함에 따라 암이 있다는 심리적 부담을 경감시킨다. 한국갑상선영상의학회(2017)⁹⁾와 유럽갑상선학회·유럽심혈관영상의학회 공동 가이드라인(2021)은 수술이나 AS를 원치 않는 선별된 PTMC 환자에게 RFA를 치료 옵션의 하나로 고려할 수 있다고 하였으며,¹⁰⁾ 2025년 개정된 ATA 가이드라인에서도 선별된 저위험 PTMC 환자에서 RFA를 일차 치료 옵션으로 고려할 수 있다고 언급하였다.¹¹⁾ 이에 본 종설에서는 최근 발표된 핵심 연구들을 중심으로 PTMC에 대한 RFA의 시술 원리, 임상 성적, 합병증, 그리고 기존 치료와 비교하여 종합적으로 고찰하고자 한다.

본론

고주파절제술의 치료 원리 및 시술 방법

RFA는 전극 팁에서 발생하는 고주파 교류 전류(통상 200~1,200 kHz)가 주변 조직 내 이온 운동을 유발하여 마찰열을 생성하여 열응고 괴사(coagulative necrosis)로 종양 세포를 파괴하는 원리이다.¹²⁾ 시술 중 조직 온도는 60°C~100°C까지 상승하며, 이를 통해 종양 내의 세포 단백질이 비가역적으로

변성된다. 실시간 초음파로 모니터링하면서 진행되고 절제 부위는 일시적으로 고에코성 변화(hyperechoic change)로 나타난다.

시술은 외래에서 국소마취하에 진행되며 전신마취가 불필요하여 환자의 부담이 크게 감소한다는 장점이 있다. 표준 시술법으로는 경협부 접근법(trans-isthmic approach)과 이동식 전극 기법(moving-shot technique)이 널리 사용된다.¹³⁾ 경협부 접근법은 협부로 전극을 삽입하여 시술 내내 초음파 화면에 전극이 보이는 장점이 있으며, 피부 및 피하지방층과 접촉을 최소화하여 열 손상 위험을 줄인다. 이동식 전극 기법은 종양 내에서 전극을 단계적으로 이동시키면서 균일한 절제 효과를 내는 방법으로, 종양의 후방·중앙·상방 순서로 체계적으로 시행한다.

시술 과정에서 종양 주변 정상 갑상선 조직을 최소 2 mm 이상 포함하는 충분한 절제연을 확보하는 것이 국소 재발 방지를 위해 중요하다.¹⁴⁾ 되돌이 후두신경·기관·식도·경동맥 등 인접 중요 구조물의 열손상을 방지하기 위해 5% 포도당액을 이용한 수압박리술(hydrodissection)을 시행하는데 이는 종양과 인접 구조물 사이에 액체 안전층을 형성하여 열에너지가 중요 구조물로 전달되는 것을 막는 효과적인 방법이다.¹⁵⁾

시술 전 필수 평가 항목으로는 초음파 및 경부 조영증강 CT를 통한 림프절 전이 여부 확인, 후두경 검사를 통한 성대 기능 평가, 갑상선 기능 검사, 혈액 응고 검사, 혈청 thyroglobulin 및 thyroglobulin 항체 측정 등이 포함된다. 시술 직후에는 절제 부위의 일시적 용적 증가가 관찰되는 것이 특징적이며, 이는 조직 부종 및 염증 반응으로 인한 정상적인 경과이다. 이후 수개월에 걸쳐 점진적으로 감소하여 대부분의 종양이 결국 완전 소실에 이르게 된다. 시술 후 추적 일정은 기관마다 차이가 있으나, 일반적으로 1, 3, 6, 12개월 간격으로 초음파 검사를 시행하고 이후 6~12개월마다 추적하는 방식이 권고된다.

단기 및 중기 임상 성적

메타분석 결과

RFA의 효능과 안전성에 대한 많은 메타분석들이 보고되었는데 van Dijk 등¹⁶⁾이 2022년 발표한 메타분석은 15개 연구, 1,770명, 1,822개 종양에 대해 추적 종료 시점의 종양 완전 소실률(complete disappearance rate, CDR)은 79%(95% CI: 65%~94%), 12개월 시점에서는 66%(95% CI: 52%~81%)였다. 종양 진행률은 1.5%로 매우 낮았으며, 절제 부위 잔

존암 0.4%, 신규 PTMC 발생 0.9%, 림프절 전이 0.2%가 각각 보고되었다. 원격전이는 보고되지 않았다. 합병증 발생률은 2%, 주요 합병증은 0%였으며, 발생한 모든 합병증은 3개월 이내에 자연 소실되었다. 이 연구는 또한 RFA가 수술이 어렵거나 AS 중 종양이 성장하는 경우의 단계적 치료(step-up treatment)로도 유용하게 활용될 수 있음을 제안하였다.

Xue 등¹⁷⁾이 2022년 발표한 메타분석(10개 연구, 1,279명)은 12개월 시점 용적감소율(volume reduction, VRR) 93.27%, 완전소실률 64%(95% CI: 39%–89%)였고 합병증은 일시적 신 목소리와 통증이었으며 각각 0.6%, 0.3%로 낮은 빈도를 보였다. 갑상선 기능 저하증과 부갑상선 기능 저하증이 RFA 후에는 보고되지 않았다.

Xu 등¹⁸⁾이 2024년 보고한 3년 이상 추적한 8개 연구, 2,131명을 대상으로 한 메타분석은 평균 추적 기간 46.6개월로 재발률은 3.4%(95% CI: 1.7%–5.2%)였으며, 절제 부위 잔존암 0.5%, 신규 PTMC 2.0%, 림프절 전이 0.9%였다. 48개월 시점 VRR은 99.81%였으며, 생명을 위협하는 합병증이나 불안·진행으로 인한 지연 수술은 한 건도 없었다는 점이 특히 주목할 만하다. 또한 5년 이상 추적한 AS에 대한 메타분석과 비교하였을 때, RFA는 종양 크기 증가 없이 림프절 전이율이 유사하거나 낮은 수준을 유지하면서 종양의 85.7%가 완전 소실되는 우수한 국소 종양 조절 효과를 보였다.

다기관 연구 결과

Lin 등¹⁹⁾은 2025년 대만과 베트남 6개 의료기관에서 206명을 대상으로 다기관 후향적 연구를 발표하였다. 전체 추적 기간 중 CDR은 추적 종료 시점에 99.2%였고, 12개월 VRR은 87.58%, 24개월에는 96.18%였다. 단기적으로는 대만과 베트남 간 VRR에 유의한 차이가 있었으나($p < 0.001$), 24개월 추적 시점에서는 그 차이가 사라졌다($p = 0.159$). 합병증은 1.9%(4명, 모두 일시적 신 목소리)에서만 발생하였으며, 모두 2개월 이내에 회복되었다. 이 연구는 표준화된 프로토콜 하에서 시술자와 의료 환경의 차이를 초월하여 일관된 치료 효과를 기대할 수 있음을 시사하는 근거를 제공한다.

Lim 등²⁰⁾이 2019년 발표한 대규모 단일기관 연구는 133명, 152개 PTMC를 평균 39개월 추적한 결과 완전소실률은 91.4%, 4년 이상 추적한 54개 종양에서 완전소실률은 100%였다. 추적 기간 동안 국소 재발, 림프절 전이, 원격전이가 발생하지 않았으며 수술 전환 사례도 없었다. 전체 합병증 3%, 주요 합병증 0.8%로 안전성이 확인되었다.

장기 임상 성적

대규모 장기 코호트 연구

Li 등²¹⁾이 2024년에 발표한 연구는 현재까지 발표된 RFA 관련 연구 중 가장 규모가 크고 추적 기간이 긴 연구 중 하나이다. 2014년부터 2020년 사이 RFA를 시행한 T1N0M0 갑상선 PTC 환자 1,613명(평균 연령 43.3세, 여성 77.9%)을 평균 58.5개월(범위 27–111개월) 추적하였다. 대상 종양의 88%는 T1a(≤ 10 mm), 12%는 T1b(> 10 mm, ≤ 20 mm)였다.

주요 결과를 살펴보면, 국소 종양 진행은 전체 4.3%(69명)에서 관찰되었으며, 이 중 재발이 2.6%(42명), 지속이 1.7%(27명)를 차지하였다. 1·3·5·8년 무병 생존율은 각각 98.0%, 96.7%, 96.0%, 95.7%였고 종양의 완전 소실률은 85.3%였으며, 첫 완전 소실은 1년(46.7%), 2년(27.5%), 3년(7.7%) 순으로 확인되었다. 전체 합병증은 2.0%, 주요 합병증(1개월 이상 지속되는 신 목소리)은 0.4%였으며 모든 합병증은 6개월 이내에 회복되었다. 원격전이는 없었다. 이 연구는 T1a뿐만 아니라 T1b를 포함한 연구로도 좋은 결과가 나왔다는 것을 보여준다고 생각된다.

다변량 콕스비례위험 회귀분석에서 피막 또는 기관으로부터 2 mm 이내에 위치한 피막하 종양(조정위험비 3.36, 95% CI: 2.02–5.59, $p < 0.001$)과 다발성 종양(조정위험비 2.27, 95% CI: 1.30–3.96, $p = 0.004$)이 국소 진행의 독립적인 위험 인자로 밝혀졌다. 이는 피막에서 충분히 떨어진 단일 종양이 RFA의 최적 적응증임을 시사하는 중요한 임상적 근거라고 생각된다.

10년 이상 장기 추적 연구

Jeong 등²²⁾이 2025년에 발표한 연구는 현재까지 보고된 가장 긴 RFA 추적 결과를 담고 있다. 국내2차병원에서 2008년 5월부터 2013년 12월 사이에 RFA를 시행한 65명(71개 저위험 PTMC)을 추적 중앙값 151개월(사분위범위 131–157개월, 약 12.6년)에 걸쳐 관찰하였다.

추적 기간 동안 국소 종양 진행, 림프절 전이, 원격전이 발생하지 않았으며 갑상선암 관련 사망도 없었다. 모든 종양은 24개월 이내에 초음파상 완전 소실되었고, 이 상태는 최종 추적 시점까지 유지되었다. 특히 미세석회화가 동반된 종양에서도 장기 추적에서 결국 완전 소실이 확인되었다. 7.7%(5명)에서 잔존 정상 갑상선에 신규 PTC가 발생하였으나, 이 중 4명은 추가 RFA로 치료되었고 1명은 갑상선연절제술을 받았으며 수술로 전환되는 환자 없이 전원 성공적으로 치료가 되었다.

합병증으로는 주요 합병증(무증상 갑상선 기능 저하증) 1건, 경미한 합병증(혈종 2건, 2도 화상 1건)이 발생하였다. 저자들은 AS 연구에서 신규 갑상선암이 흔히 보고되지 않는다고 언급하며, 신규 발생 종양을 RFA로 인한 부작용이 아닌 PTMC의 자연 경과로 해석하였다. 이 연구는 RFA가 10년 이상의 장기 추적에서도 지속적인 효과가 있다는 것을 보여주었다.

수술과의 비교

RFA와 수술을 직접 비교한 연구 중 가장 주목할 만한 것은 Zhang 등²³⁾이 2020년에 발표한 연구로 2013년 1월부터 11월까지 단일 결절 PTMC 174명을 대상으로 RFA군(94명)과 수술군(80명)을 5년 이상 추적 비교하였다. 수술군은 갑상선엽절제술 72.5%, 갑상선 전절제술 27.5%였으며 66.3%에서 중앙 림프절 광청술을 시행되었다.

종양학적 결과를 비교하면, 새로운 병변 발생률(RFA 1.1% vs. 수술 1.3%, $p=0.363$)과 림프절 전이율(RFA 0% vs. 수술 1.3%, $p=0.460$) 모두 두 군 간 통계적으로 차이가 없었다. 즉, RFA는 수술에 비해 종양학적으로 비열등함을 보여주었다. 그러나 합병증에서는 차이가 있었는데 수술군에서는 영구적으로 되돌이 후두신경 손상 2.5%(2명), 영구적 부갑상선 기능 저하증 1.3%(1명)이 발생한 반면 RFA군에서는 합병증이 없었다($p=0.095$). 수술 시간(62.9분 vs. 8.0분), 추정 실혈량(26.1 mL vs. 0 mL), 입원 기간(9.4일 vs. 0일), 치료 비용(2,355 달러 vs. 1,832달러)도 수술군에서 모두 유의하게 높았다(모두 $p<0.001$). 삶의 질 설문(THYCA-QoL)에서는 음성, 심리적 문제, 감각 문제, 흥터, 냉감, 체중 증가 등 다수의 영역에서 RFA군의 삶의 질이 통계적으로 우수하였으며, 총점 역시 RFA군에서 유의하게 낮아(13.1점 vs. 14.7점, $p<0.001$) 삶의 질이 더 높았다.

능동적 감시와의 비교 및 삶의 질

Lee 등²⁴⁾이 2024년 발표한 전향적 임상연구는 AS와 비교한 연구로 19-60세의 저위험 단일 PTMC 환자만을 대상으로 하였으며, 기존 연구들과 달리 수술 고위험군이나 수술 거부 환자를 제외함으로써 보다 순수한 AS 후보군에서 RFA 효과를 평가하였다는 점에서 차별화된다.

98명을 분석한 결과, 추적 중앙값 30개월(범위 12-56개월)에 CDR 95.9%, 국소 재발 0건이었다. 1년 시점 VRR 중앙값은 100%였고 이후에도 유지되었다. 질병 진행은 3.1%(3명)에서 관찰되었으며, 림프절 전이 1명(수술 및 방사성요오드 치료), 반대편 갑상선 엽의 새로운 PTMC 2명(각각 RFA, AS 선택)

이였다. 주요 합병증은 없었으며 일시적 쉼 목소리가 1명(1%)에서 발생후 6개월 이내 자연 회복되었다.

삶의 질 분석에서는 심리적(7.3점→8.0점, $p=0.002$)·사회적(8.0점→8.7점, $p=0.005$) 영역의 점수가 시술 후 지속적으로 유의하게 향상되었다. 특히 초기 심리적 삶의 질이 낮은 환자군(6.8점 미만)에서 RFA 후 평균 2.2점 향상된 반면, 심리적 삶의 질이 높은 환자군에서는 0.7점 향상에 그쳐, 불안이 높은 환자일수록 RFA로부터 심리적 이익을 더 크게 얻을 수 있음이 시사하였다. 또한 시술 후 임신한 9명 모두 종양 진행 없이 정상 출산하였으며, 삶의 질도 다른 환자들과 유사하게 향상되어 RFA가 임신을 계획 중인 젊은 여성 환자에게도 고려할 수 있음을 보여주었다.

합병증 및 안전성

여러 대규모 연구에서 가장 흔한 합병증은 일시적 쉼 목소리(transient voice change)로, 되돌이 후두신경 인근으로 열에너지가 전파될 때 발생한다. 수압박리술의 적절한 적용과 시술자의 숙련도 향상으로 그 발생률을 1% 미만으로 낮출 수 있다. 혈종, 피부 화상, 일시적 통증 등의 경미한 합병증은 대부분 자연적으로 호전된다. Lim과 Kim¹⁶⁾은 최근 보고에서 RFA 관련 1개월 이상 지속되는 쉼 목소리의 발생률이 0.1% 미만으로 매우 낮으며, 생명을 위협하는 합병증은 현재까지 하나도 보고되지 않았다고 밝혔다.

수술의 대표적 영구 합병증인 갑상선 기능 저하증과 저칼슘혈증이 RFA에서는 사실상 발생하지 않는다는 점은 임상적으로 매우 중요한 의미를 지닌다. PTMC에 대한 RFA는 극히 소량의 갑상선 조직만을 파괴하므로 잔존 갑상선 기능이 대부분 보존된다. 이는 시술 후 갑상선호르몬 보충요법이 불필요하다는 것을 의미하며, 장기적인 약물 복용 부담과 관련 부작용을 피할 수 있는 중요한 이점이 된다. 이비인후과 의사로서 특히 주목해야 할 점은 되돌이 후두신경 영구 손상의 위험이 RFA 수술에 비해 현저히 낮다는 사실이다. 수술 후 되돌이 후두신경 손상 발생률은 보고에 따라 1%-3%에 달하는 반면, RFA에서의 영구적 음성 변화는 현재까지의 연구에서 0.1%-0.2% 등으로 낮게 보고되고 있다.

또한 Liou 등²⁵⁾이 발표한 미국에서 시행된 최대 규모의 RFA 연구는 46개 PTMC를 포함한 41명을 대상으로 하였다. 추적 중앙값 8개월에 완전소실률 85%, 합병증 발생률 9.8%(모두 경미한 수준)를 보고하며 RFA가 안전하고 효과적임을 보고하였다. 저자들은 종양의 크기보다 피막과의 거리가 예후 결정에 더 중요한 인자임을 강조하였다.

결론

RFA는 저위험 PTMC에서 수술과 동등한 종양학적 결과를 유지하면서 갑상선 기능을 보존하고, 되돌이 후두신경 손상을 포함한 합병증을 최소화하며, 삶의 질을 향상시키는 치료법으로 대두되고 있다. 10년 이상의 장기 추적 결과에서도 지속적인 효능과 안전성이 확인되었고 피막에서 충분히 떨어진 단일 PTMC가 최적의 적응증이다. 임상에서 PTMC 환자를 진료할 때, 특히 수술 고위험군, 젊은 여성 환자, 심리적 불안이 큰 환자, 임신을 계획 중인 환자, 갑상선 기능 보존을 원하는 환자에서 RFA는 고려할 수 있는 선택지 중 하나가 될 수 있다. 다만 충분한 시술자 경험의 확보, 철저한 시술 전 평가를 통한 적절한 환자 선택, 그리고 잔존 갑상선에서의 신규 암 발생 가능성에 대한 체계적인 장기 추적의 필요성은 중요하다. 향후 AS-RFA 수술 세가지를 비교하는 대규모 전향적 다기관 무작위배정 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

Not applicable.

Funding Information

This study was supported by a 2026 research grant from Pusan National University Yangsan Hospital.

Conflicts of Interest

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

ORCID

Minhyung Lee, <https://orcid.org/0000-0002-4038-1667>

Jin-Choon Lee, <https://orcid.org/0000-0002-5629-4277>

Eui-Suk Sung, <https://orcid.org/0000-0001-8752-3426>

Author Contribution

Conceptualization: Sung ES.

Data curation: Lee M.

Formal analysis: Lee M.

Methodology: Lee JC.

Investigation: Lee JC.

Writing - original draft: Sung ES.

Writing - review & editing: Lee M, Lee JC, Sung ES.

Ethics Approval

Not applicable.

References

- Lloyd RV, Osamura RY, Klöppel G, Rosai J. WHO classification of tumours of endocrine organs. 4th ed. Lyon: IARC Press; 2017.
- LiVolsi VA. Papillary thyroid carcinoma: an update. *Mod Pathol*. 2011;24(Suppl 2):S1-9.
- Davies L, Welch HG. Current thyroid cancer trends in the United States. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2014;140(4):317-22.
- Yu XM, Wan Y, Sippel RS, Chen H. Should all papillary thyroid microcarcinomas be aggressively treated?: an analysis of 18,445 cases. *Ann Surg* 2011;254(4):653-60.
- Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, Doherty GM, Mandel SJ, Nikiforov YE, et al. 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American Thyroid Association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. *Thyroid* 2016;26(1):1-133.
- Joliat GR, Guarnero V, Demartines N, Schweizer V, Matter M. Recurrent laryngeal nerve injury after thyroid and parathyroid surgery: incidence and postoperative evolution assessment. *Medicine* 2017;96(17):e6674.
- Cho SJ, Suh CH, Baek JH, Chung SR, Choi YJ, Chung KW, et al. Active surveillance for small papillary thyroid cancer: a systematic review and meta-analysis. *Thyroid* 2019;29(10):1399-408.
- Koshkina A, Fazelzad R, Sugitani I, Miyauchi A, Thabane L, Goldstein DP, et al. Association of patient age with progression of low-risk papillary thyroid carcinoma under active surveillance: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2020;146(6):552-60.
- Kim JH, Baek JH, Lim HK, Ahn HS, Baek SM, Choi YJ, et al. 2017 thyroid radiofrequency ablation guide-

- line: Korean Society of Thyroid Radiology. *Korean J Radiol* 2018;19(4):632-55.
10. Mauri G, Hegedüs L, Bandula S, Cazzato RL, Czarniecka A, Dudeck O, et al. European Thyroid Association and Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe 2021 clinical practice guideline for the use of minimally invasive treatments in malignant thyroid lesions. *Eur Thyroid J* 2021;10(3):185-97.
 11. Ringel MD, Sosa JA, Baloch Z, Bischoff L, Bloom G, Brent GA, et al. 2025 American thyroid association management guidelines for adult patients with differentiated thyroid cancer. *Thyroid* 2025;35(8):841-985.
 12. Knavel EM, Brace CL. Tumor ablation: common modalities and general practices. *Tech Vasc Interv Radiol* 2013;16(4):192-200.
 13. 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.
 14. Li X, Li J, Qiao Z, Yan L, Xiao J, Li Y, et al. Rigorous radiofrequency ablation can completely treat low-risk small papillary thyroid carcinoma without affecting subsequent surgical management. *Eur Radiol* 2023;33(6):1489-97.
 15. Laeseke PF, Sampson LA, Brace CL, Winter TC III, Fine JP, Lee FT Jr. Unintended thermal injuries from radiofrequency ablation: protection with 5% dextrose in water. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186(5 Suppl):S249-54.
 16. van Dijk SPJ, Coerts HL, Gunput STG, van Velsen EFS, Medici M, Moelker A, et al. Assessment of radiofrequency ablation for papillary microcarcinoma of the thyroid: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2022;148(4):317-25.
 17. Xue JN, Teng DK, Wang H. Efficacy and safety of ultrasound-guided radiofrequency ablation for papillary thyroid microcarcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Int J Hyperthermia* 2022;39(1):1300-9.
 18. Xu X, Peng Y, Han G. Three-year follow-up results of radiofrequency ablation for low-risk papillary thyroid microcarcinomas: systematic review and meta-analysis. *Eur J Surg Oncol* 2024;50(9):108470.
 19. Lin WC, Chen CC, Wu YJ, Wu MH, Cheng KL, Wang WH, et al. Ultrasound-guided radiofrequency ablation for papillary thyroid microcarcinoma: efficacy and safety in a cross-country multicenter retrospective study. *Int J Endocrinol* 2025;2025:1438786.
 20. Lim HK, Cho SJ, Baek JH, Lee KD, Son CW, Son JM, et al. US-guided radiofrequency ablation for low-risk papillary thyroid microcarcinoma: efficacy and safety in a large population. *Korean J Radiol* 2019;20(12):1653-61.
 21. Li X, Yan L, Xiao J, Li Y, Yang Z, Zhang M, et al. Long-term outcomes and risk factors of radiofrequency ablation for T1N0M0 papillary thyroid carcinoma. *JAMA Surg* 2024;159(1):51-8.
 22. Jeong SY, Baek SM, Shin S, Son JM, Kim H, Baek JH. Radiofrequency ablation of low-risk papillary thyroid microcarcinoma: a retrospective cohort study including patients with more than 10 years of follow-up. *Thyroid* 2025;35(2):143-52.
 23. Zhang M, Tufano RP, Russell JO, Zhang Y, Zhang Y, Qiao Z, et al. Ultrasound-guided radiofrequency ablation versus surgery for low-risk papillary thyroid microcarcinoma: results of over 5 years' follow-up. *Thyroid* 2020;30(3):408-17.
 24. Lee JY, Na DG, Sim JS, Sung JY, Cho SW, Park DJ, et al. A prospective clinical trial of radiofrequency ablation in patients with low-risk unifocal papillary thyroid microcarcinoma favoring active surveillance over surgery. *Thyroid* 2024;34(9):1126-36.
 25. Liou R, Slattery L, Hu Y, Kuo EJ, McManus C, Lee JA, et al. Short-term outcomes in radiofrequency ablation for the primary treatment of T1N0M0 papillary thyroid carcinomas. *Am J Surg* 2026;253:116702.