



Effective and Safe Application of Radiofrequency Ablation for Benign Thyroid Nodules

양성갑상선결절에 대한 효과적이고
안전한 고주파절제의 적용

Jin Yong Sung, MS*

Department of Radiology, Thyroid Center, Daerim St. Mary's Hospital, Seoul, Korea

ORCID iD

Jin Yong Sung <https://orcid.org/0000-0002-8163-4624>

Received June 7, 2023
Accepted June 30, 2023

*Corresponding author

Jin Yong Sung, MS
Department of Radiology,
Thyroid Center,
Daerim St. Mary's Hospital,
657 Siheung-daero,
Yeongdeungpo-gu,
Seoul 07442, Korea.

Tel 82-2-829-9164
Fax 82-2-829-9166
E-mail jysrad68@empas.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

Radiofrequency ablation (RFA) has been a representative, non-surgical treatment for benign thyroid nodules that cause cosmetic problems or compression symptoms. The procedure of RFA should be performed effectively and safely. This review discusses the patient selection, pre-procedure evaluation and planning, principles, devices, techniques, and complications with reference to the guidelines and research on thyroid RFA. In particular, this review will devote to introduce RFA techniques and to provide practical help in the implementation of this procedure.

Index terms Ultrasonography; Radiofrequency Ablation; Thyroid Nodule; Thyroid Gland

서론

갑상선결절은 초음파검사상 흔하게 발견되지만, 대부분이 양성이고 증상을 유발하지 않으므로 치료할 필요가 없다(1, 2). 그러나, 양성갑상선결절의 크기가 큰 경우에는 외모상의 문제나 경부압박 증상을 유발해 치료가 필요할 수 있으며, 수술이 1차적 치료법으로 사용되어 왔다(1, 2). 수술은 전신마취가 필요하고 여러 합병증에 대한 우려가 있어 이를 대체할 비수술적 치료들이 개발되었다(3, 4). 이 중 고주파절제(radiofrequency ablation)는 국내에서 2007년 양성갑상선결절에 대한 적용을 신의료기술로 인정받아 그 이용이 폭발적으로 증가했다. 대한갑상선영상의학회는 2009년 갑상선고주파절제 시술 권고안 초안, 2012년 갑상선고주파절제 진료 권고안 및 2017년 개정 권고안을 각각 발표하여 시술자에게 진료의 표준을 제시해 왔다(3-5).

양성갑상선결절에 대해 고주파절제를 시술할 때 반드시 고려해야 할 사항들은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 악성이 아닌 양성 질환을 치료하기 때문에 치료의 효과와 안전성을 동시에 고

려해야 한다. 둘째, 갑상선은 다른 기관들에 비해 크기가 작아 치료할 병변과 그 주변의 중요 기관들 사이의 공간이 충분하지 않으므로 시술 중 합병증 발생 가능성을 염두에 두어야 한다. 셋째, 열을 이용하는 치료이므로 열이 발생하는 원리와 열을 발생시키는 기구에 대한 충분한 이해가 필요하다. 넷째, 초음파를 실시간으로 이용해 시행하므로 경부 해부학, 초음파검사, 초음파를 이용한 시술에 대한 숙련도가 중요하다.

이 종설은 기존의 권고안 및 연구 논문들을 참조해 시술자가 안전하고 효과적으로 갑상선고주파절제를 시행할 수 있도록, 특히 시술법에 많은 부분을 할애해 작성되었다.

대상 환자 선정 및 상담

양성갑상선결절의 고주파절제 시행 여부를 결정할 때 두 가지 고려 사항이 있다. 첫 번째는 결절이 양성임을 확인하는 것이다. 두 번째는 결절이 유발하는 징후나 증상에 대한 확인을 통해 치료의 이유 및 목적을 명확하게 하는 것으로 이는 환자와 치료 전 반드시 공유해야 할 사항이다. 갑상선결절에 대한 초음파 소견과 조직검사 결과를 통해 양성임을 확인해야 한다. 또한, 고주파절제 대상이 되는 크기가 큰 갑상선결절은 세침흡인생검(fine needle aspiration biopsy) 및 중심부생검(core needle biopsy)의 위음성(false negative) 우려가 있으며, 대부분의 진료 권고안에서 최소 2회의 양성 결과가 있어야 양성으로 판정할 수 있다고 제시되어 왔다(1-8). 다만, 초음파검사상 전형적인 양성 결절의 모습인 등예코의 스폰지양결절(spongiform nodule) 또는 혜성꼬리허상(comet tail artifact)을 동반한 부분낭성결절 등은 1회의 양성 결과로도 충분히 양성 판정이라 할 수 있다(4). 추가로 양성 가능성이 높은 자율기능성결절(autonomously functioning nodule)의 경우에도 1회의 양성 결과로 충분하다(4). 반대로, 조직검사 결과가 양성이라도 초음파검사상 분명한 악성 의심 소견이 보이면 고주파절제 시행 여부를 신중하게 결정해야 한다(3, 4). 양성갑상선결절로 인한 외모상의 변화와 증상은 환자의 목둘레 및 결절의 위치에 영향을 받는데, 특히 협부의 결절은 상대적으로 크기가 작아도 치료 대상이 될 수 있다. 또한, 추적검사상 지속적인 성장을 보이는 경우는 이로 인한 증상 및 징후의 변화 양상까지 고려하여 치료 여부를 결정해야 한다. 임신, 심장의 문제 및 반대편 성대마비가 있는 환자는 특별한 경우가 아니면 시술의 대상에서 제외해야 한다(4). 자율기능성결절의 경우 결절로 인한 외모상의 문제 및 압박 증상 외에 갑상선독증(thyrotoxicosis) 증상에 대한 확인이 필요하며, 1차적인 치료 방법인 방사성동위원소 치료 및 수술로 인한 갑상선기능저하증 등 합병증에 대한 우려가 있거나, 환자가 치료를 거부하는 경우 고려될 수 있다(1-9). 특히, 임상전단계의 사전독성결절(pre-toxic nodule)을 가진 가임연령의 여성은 고주파절제의 적절한 치료 대상으로 볼 수 있다.

환자에게 갑상선고주파절제에 대해 설명할 때 수술과 비교하여 설명하는 것이 필요하다. 수술은 한 번의 치료로 결절이 완전히 제거되고, 제거된 결절을 병리학적으로 확인할 수 있다는 장점이 있다. 이에 비해, 고주파절제는 재발에 대한 우려 및 추가 치료 가능성이 있고, 치료 후 천천히 크기가 줄어든다는 단점이 있다. 반면에 고주파절제는 전신마취가 필요 없고, 수술 반흔이 없으며, 합병증 확률이 수술에 비해 현저하게 낮다는 장점들을 가진다. 고주파절제 전 환자 상담 시 치료의 목적에

대하여 공유해야 하는데, 비독성양성갑상선결절의 경우 압박증상 및 외모상의 문제 해결이, 자율 기능성결절의 경우 갑상선기능의 정상화가 각각 치료의 1차 목표여야 한다. 두 경우 모두 고주파 절제의 최종 목표는 결절이 최대한 괴사되어 재발하지 않는 것이다. 고주파절제에 대한 환자 상담 시에는 예상되는 치료 횟수, 추적검사의 필요성 및 추적 중 추가 치료 결정 가능성, 시술 중 발생하는 통증 및 발생 가능한 합병증의 종류 등에 대해 설명하고, 서면 시술 동의를 받아야 한다.

치료 전 결절의 평가 및 치료 계획

고주파절제 전 초음파검사를 하여 갑상선결절의 특징을 면밀하게 분석해야 한다. 이를 통해 치료의 예상 횟수, 치료의 순서, 치료 시 사용할 기구, 발생 가능한 합병증 등에 대한 정보를 얻게 된다. 결절의 길이 중 특히 횡단면의 폭은 사용할 전극의 종류를 결정하는데 중요하다. 결절의 부피는 고주파절제 시 사용될 에너지의 양과 대체적인 치료 시간을 추정할 수 있게 한다. 갑상선결절 내와 주변의 혈관 분포를 분석해 결절의 치료를 위해 절제할 혈관의 위치 및 절제 순서를 정하게 된다. 치료할 때 출혈 위험도를 높이는 혈관의 위치를 확인할 수 있고 출혈을 유발할 수 있는 혈관을 피하여 전극이 진입할 수 있는 적절한 경로를 정할 수 있다. 갑상선 내에서 결절이 어디에 위치하는가에 따라 치료의 난이도와 발생 가능한 합병증의 종류가 달라질 수 있으며, 고주파 전극을 진입하는 경로도 달라지게 된다. 결절 내의 고형 부분과 낭성 부분의 비율을 확인하고, 낭성 부분의 양에 따라 고주파절제 시작 전 그 내용물을 흡인할 것인지 정해야 한다.

갑상선고주파절제의 치료 원리 및 치료 기구

고주파절제는 약 500 KHz의 고주파를 표적조직에 가함으로써 발생하는 열을 이용하여 생체조직을 파괴하는 치료다. 표적조직 안에 전극을 위치시키고 허벅지에 접지패드(grounding pads)를 붙인 후 고주파발생기(radiofrequency generator)를 작동시키면 전극에서 조직, 접지패드, 고주파발생기를 따라 흐르는 전기회로가 형성되고 전극 주변 조직은 마찰열에 의해 조직이 손상된다. 마찰열에 의한 조직 파괴는 전극에서 가까운 부위에서 극대화되고 멀어질수록 감소한다. 마찰열이 발생해 시간이 경과하면 열전도에 의해서 전극으로부터 떨어진 부위에서도 서서히 조직 파괴가 발생한다(10). 마찰열은 전도열에 비해 매우 강력하여 종양을 즉각적으로 죽이는 효과가 있지만 전극에서 아주 가까운 부분만 치료된다는 단점이 있다. 간암의 치료에서는 전극을 고정하고 치료를 진행하여 마찰열과 전도열 모두를 이용하여 종양을 치료하는 반면 갑상선에서는 전극을 움직이면서 시술하기 때문에 주로 마찰열로 결절을 치료한다. 갑상선고주파절제에서 전극을 빠르게 움직여도 강력한 마찰열은 결절의 치료에 효과적이다. 고주파에 의한 열에너지가 조직 내 온도를 50°C 이상으로 상승시키면 비가역적 손상이 시작된다. 60°C 이상이 되면 세포 내 단백질이 즉각적으로 응고되면서 세포사(cell death)가 일어난다. 하지만 조직 내 온도가 100°C 이상으로 상승하면 조직 내의 수분 증발(vaporization)로 많은 양의 기체와 조직탄화(carbonization)가 발생하며, 이들은 전류저항을 증가시키는 절연체 역할을 하여 열 발생을 방해한다(10, 11). 따라서 적절한 치료

를 위해서는 조직 내 온도를 50°C–100°C 사이로 유지하는 것이 중요하다. 섬유화 또는 석회화 등을 포함하는 조직에서는 조직 내 이온이 적어 마찰열 발생이 어려우므로 더 높은 에너지를 사용해서 치료해야 한다. 조직의 관류는 열손실과 밀접한 관련이 있는데, 결절 내부나 주변의 혈관이 열흡수 효과(heat-sink effect)를 일으켜 열손실이 커진다(10). 혈관이 많은 결절은 열흡수 효과가 커서 같은 에너지로 얻을 수 있는 치료 효과가 상대적으로 떨어지며 더 많은 양의 고주파 에너지로 치료해야 한다.

고주파절제의 치료 기구는 고주파발생기, 전극, 접지패드 등이 있다. 이들은 전선과 인체를 통해 회로를 이루며 서로 연결된다. 접지패드는 환자의 허벅지에 부착시키며, 고주파발생기에는 접지패드 및 전극과 연결되는 단자가 존재한다. 고주파발생기의 다이얼을 이용하여 치료 시 발생시킬 에너지 출력량을 정하고 치료 중 에너지 수준을 조절할 수 있다. 고주파발생기 화면에는 시술 중 가해지는 실시간 에너지양, 에너지가 가해진 총 시간, 치료 시 전극에서 발생하는 저항값, 고주파 전극 내의 온도 등이 표시되어 시술자는 치료 중 이를 확인할 수 있다. 고주파발생기에는 고주파 발생을 시작하고 멈추는 버튼이 있는데 이는 시술 보조자가 작동시키거나 시술자가 직접 고주파 발생을 통제하도록 고주파발생기에 연결된 페달 스위치를 이용하기도 한다. 전극은 고주파절제에서 가장 중요한 기구이며, 갑상선에 적용하기 위해 길이가 짧은 직선형의 특화된 전극이 개발되어 있다(thyroid-dedicated modified internally cooled electrode). 전극의 내부는 전극 자체의 온도상승을 억제하기 위해 차가운 증류수가 관류 될 수 있도록 만들어졌으며, 시술 중 전극 온도는 20°C–30°C 미만으로 유지해야 한다. 전극의 끝면은 절연체로 덮여 있고, 끝부분(uncovered active tip)만 노출되어 있으며 이 부분에서 고주파가 발생한다. 이 끝부분의 길이에 따라 전극의 종류가 정해지며, 현재까지 0.38 cm, 0.5 cm, 0.7 cm, 1 cm, 1.5 cm uncovered active tip을 가진 전극이 개발되어 있다. 최근에는 uncovered active tip의 길이를 시술 중 조절할 수 있는 전극(adjustable active tip)이 개발되어 사용 중이다(12).

시술법(Ablation Techniques)

효과적이고 안전한 시술을 위해서는 갑상선고주파절제의 초보 시술자도 반드시 알아야 할 필수 술기와 경험이 쌓이면서 적용 가능한 고급 술기 모두에 대한 이해가 필요하다(Table 1). 또한, 시술자가 기본적으로 갖추어야 할 두 가지 기본 능력이 있다. 1) 시술자는 초음파상 전극의 전체 길이를 실시간으로 확인할 수 있어야 하고, 2) 전극을 시술자가 원하는 곳으로 보낼 수 있어야 한다. 위 두 가지 능력을 체득하기 위해 시술자는 갑상선고주파절제 시행 전 갑상선조직검사를 포함한 초음파를 이용한 술기에 대한 많은 경험을 쌓아야 한다.

시술자는 시술 전 어느 길이의 active tip을 가진 전극을 사용할지 선택해야 한다. 짧은 active tip을 이용하면 결절 내부를 꼼꼼하게 치료할 수 있고 환자가 느끼는 통증도 적어질 수 있으나, 치료 시간이 길어질 수 있다. 초음파상 보인 결절의 크기, 특히 횡단면 폭을 고려하여 전극을 선택하게 되는데, 결절 내부에 낭성 부위가 많거나 혈류량이 많은 결절을 치료할 때는 열손실이 많아 너무 짧은 active tip을 가진 전극을 선택하면 치료에 어려움을 겪게 된다. 물론 시술자의 선호도와

Table 1. Thyroid Radiofrequency Ablation Techniques

Basic Ability
Can see entire length of the electrode on ultrasonography
Can send electrode tip to the desired place
Essential Techniques
Perithyroidal lidocaine injection
Trans-isthmic approach
Moving shot technique
Advanced Techniques
Vascular ablation technique
Artery-first ablation technique
Marginal venous ablation technique
Hydrodissection Technique

**Fig. 1.** Perithyroidal lidocaine injection.

Axial ultrasound scan shows well introduced needle (short arrows) into the space between strap muscle and thyroid gland and injected lidocaine (long arrows).

목표로 한 결절 내 치료 면적 등이 전극 선택에 반영될 수 있다. Active tip 길이에 따라 고주파 출력이 정해진다. 0.38 cm은 5–10 W, 0.5 cm은 10–20 W, 0.7 cm은 20–30 W, 1 cm은 30–50 W, 1.5 cm은 50–80 W로 설정하고 치료를 시작한다. 열을 가하기 시작하여 약 10초가 경과하였는데도 전극 주변에서 고에코의 미세기포가 발생하는 등의 반응이 생기지 않으면 출력을 5–10 W씩 높여가며 치료를 진행하게 된다.

환자는 시술 당일 약 4–6시간 금식하게 하며 정맥 주사선을 확보한 후 시술을 시작한다. 시술하는 장소에는 응급상황에 대비할 수 있는 장비를 갖추어야 한다. 환자는 목을 약간 뒤로 젖힌 상태로 누고 접지패드는 양쪽 허벅지에 완전히 밀착시킨다. 목을 전체적으로 넓게 소독한 후 초음파로 관찰하여 혈관을 피할 수 있는 가장 안전한 경로를 설정한다.

시술 중 환자의 통증을 감소시키기 위해 시술 전 국소마취를 시행한다. 전극이 진입할 피하조직에 먼저 소량의 국소마취제를 주입한 후, 감격신경이 위치한 갑상선피막까지 마취하면 효과적으로 환자의 통증을 경감시킬 수 있다(4). 초음파상 얇은 고에코 선으로 보이는 띠근육(strap muscle)과 갑상선의 경계부위, 즉 갑상선피막 주변으로 바늘을 진입시킨 후 국소마취제를 5–10 mL

주입하면 띠근육과 갑상선이 분리되면서 국소마취제가 피막을 따라 넓게 퍼지는 모습을 확인할 수 있다(perithyroidal lidocaine injection) (Fig. 1) (13). 국소마취제 주입을 위한 바늘진입 시 전경정맥(anterior jugular vein), 피막의 정맥(venous plexus) 및 상갑상선동맥(superior thyroidal artery) 등의 혈관을 손상시키지 않도록 주의해야 하고, 피막이 아닌 띠근육에 마취제가 주로 주입되면 마취 효과가 떨어지므로 주의해야 한다.

전극을 결절로 진입시키는 경로로는 협부를 통하는 것(trans-isthmic approach)을 기본 접근법으로 사용한다(4, 5, 14, 15). 이는 결절이 위치하는 반대쪽 피부에서 시작해 갑상선 협부를 통과한 후 결절로 접근하는 방식이다(Fig. 2) (14, 15). 이 방식의 장점은 다음과 같다. 첫째, 되돌이후두신경(recurrent laryngeal nerve), 식도, 기관 등이 시술 도중 손상되지 않도록 초음파 횡단면 영상을 통해 전극의 끝을 포함한 전극의 전장을 실시간으로 쉽게 관찰할 수 있다. 둘째, 시술 중 환자가 말을 하거나 침을 삼켜도 전극 끝의 움직임이 제한되기 때문에 안전하다. 셋째, 낭성 결절을 치료할 때 뜨거워진 액체 성분이 전극이 들어간 경로를 따라서 새는 것을 방지할 수 있다(13). 전극에 의한 혈관 손상으로 갑상선실질부종이나 갑상선주변혈종이 발생하지 않도록 상갑상선동맥의 손상을 피하도록 주의해야 한다. 전체 결절의 중간 부분에서 전극을 진입해 들어가면 결절의 위 및 아래 부분의 치료까지 연속으로 할 수 있어 유리하다. 하지만, 결절의 상하 지름이 매우 큰 경우, 시술 중 결절에서 전극을 후퇴시켜 갑상선실질 내에서 또는 띠근육 바깥에서 경로를 바꾸어 첫 진입 부위에서 치료가 어려웠던 결절의 다른 부위로 전극을 재진입시켜 치료를 재개할 수 있다. 결절의 위치에 따라 횡단면 상 협부의 정상 조직을 통과하여 진입하기 어려울 수 있는데, 진입 경로를 다소 사면으로(oblique approach) 정하면 대부분의 경우에서 정상 조직을 통과하여 결절 내로 진입시킬 수 있다. 협부의 결절은 우측 또는 좌측으로 진입할 수 있는데, 초음파탐촉자로 결절을 눌러보고 밀어본 후 진입이 편한 쪽으로 정하게 된다. 또한, 전극의 움직임이 용이한 전극 진입 반대편에 치료가 어려움이 생길 수 있는 혈류가 많은 부분 또는 낭성 부분이 위치하도록 진입 방향을 정하는 것이 치료에 유리하다.

간암의 경우는 시술 중 전극을 움직이지 않는데(fixed electrode technique), 이 경우 열에 의해 치료되는 부위는 구형으로 형성되고 시술의 범위도 암과 주변의 정상조직을 포함한다. 반면에, 타

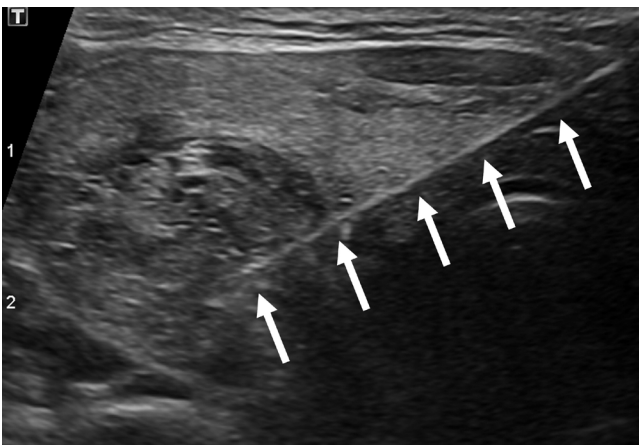


Fig. 2. Trans-isthmic approach. Axial ultrasound scan shows the safely inserted electrode (arrows) into the right thyroid nodule, through sufficient isthmic parenchyma.

원형의 갑상선결절은 전극을 고정하고 치료하면 주변 장기 손상을 피할 수 없어 심각한 합병증을 유발할 수 있다. 이러한 이유로 갑상선결절을 치료할 때는 결절을 여러 작은 시술 구역으로 나누고 전극을 이동하면서 치료한다(moving-shot technique) (Fig. 3) (16, 17). 시술 구역의 크기는 결절의 가장자리 부위에서는 작게, 결절의 중앙에서는 크게 설정해야 한다. 시술 구역 크기가 작을수록 시술 시간이 짧아져야 한다. 전극의 끝을 결절의 가장 깊고 먼 쪽에 놓고 시술을 시작해야 한다. 이는 시술을 시행한 부위에는 치료 시 발생한 미세기포가 존재해 치료한 부위보다 더 깊은 부위에서는 초음파로 전극의 끝부분을 관찰하기 어려워지기 때문이다. 에너지가 가해지면 전극 끝부분 주변에 초음파상 고에코가 발생하기 시작하는데, 이를 확인하면 전극을 끌어당겨 다른 시술 구역으로 이동시키며, 전극은 점차 진입한 표면 쪽으로 이동하게 된다. 전극을 한 시술 구역에 너무 오래 두고 에너지를 가하면 온도가 과도하게 상승하여 다량의 기포가 형성되는데, 이때 ‘퍽’하는 소리가 난다. 이러한 과정이 반복되면 조직탄화에 의해 전극 끝부분에 숯이 생겨 붙게 되는데, 숯은 저항을 높이고 숯의 날카로운 끝면으로 인해 전극을 움직일 때 결절 내에 출혈도 유발될 수 있다. 시술 경험이 많아지면 에너지를 가하면서 한 번에 연속으로 여러 시술 구역을 치료할 수 있다. 그러나, 초급자들은 한번 에너지를 가할 때 1-2개의 시술 구역만 치료하고, 출력을 중단한 후 전극 위치를 원하는 곳으로 옮기고 다시 에너지를 가하는 방식으로 치료하는 것이 안전하다. 결절 한 단면이 모두 고에코로 변하면, 전극을 아래 또는 위의 다른 단면으로 이동시켜 같은 방식으로 치료를 이어가 전체 결절을 치료한다.

고주파절제로 갑상선결절 전체를 한 번에 치료할 수 있다면 이상적인 치료가 되겠지만, 양성을 치료하는 것인 만큼 무리한 시술로 합병증 가능성을 높이기보다 되돌이후두신경이나 식도에 인접한 결절 부위는 덜 치료되더라도 안전하게 치료를 마치는 것이 중요하다. 낭성 부위가 많은 결절은 액체를 흡인하고 시술하면 고주파절제를 용이하게 시행할 수 있다. 다만, 액체 흡인 직후 출혈이 생기면 흡인의 효과가 없어진다. 이런 경우에는 에탄올절제를 먼저 시행하여 출혈을 억제한 후 고주파절제를 진행하거나 액체를 흡인하지 않고 출혈을 유발하는 과혈관부위 또는 혈관 자체를 먼저 치료하는 방법 등을 사용할 수 있다(13, 18). 어느 방식으로 시술을 시행할지는 시술자의 경험을 바탕으로 상황에 따라 결정하면 된다.

Fig. 3. Moving shot technique.

- A. Axial ultrasound scan shows small hyperechogenicity (arrow) around the electrode tip in the dangerous deep peripheral portion of the right thyroid nodule.
- B. Axial ultrasound scan shows large hyperechogenicity (arrow) around the electrode tip in the safe central portion of the right thyroid nodule.
- C. Axial ultrasound scan shows that entire nodule turned to be hyperechoic, suggesting complete ablation of this plane of the nodule.



혈관이 많은 결절은 열흡수 효과로 인해 열효율이 떨어지므로 고주파 출력을 더 높여서 시술을 진행해야 하고, 가능하다면 주변 조직까지 포함해서 치료해야 재발 가능성을 낮출 수 있다(19). 따라서, 과혈관성 결절 등에서는 치료 효과를 높이고, 치료 중 출혈 가능성을 낮추며, 치료 시간도 단축하기 위해 치료 초기에 결절의 영양동맥(feeding artery)을 먼저 절제하는(artery-first ablation technique) 것이 유용하다(13). 영양동맥은 주로 협부나 그 주변에 위치하며, 치료 전 혈관분포화인(vascular mapping) 과정에서 치료할 동맥을 정하게 된다. 전극으로 동맥을 직접 천자하여 절제를 진행하며, 절제 후 치료한 동맥이 혈류 공급하던 결절 부위가 괴사되어 초음파상 저에코로 변화한 것을 확인하게 되는 경우도 있다(Fig. 4). 결절의 앞쪽에 위치한 영양동맥을 먼저 치료하는 경우 치료로 생성된 고에코로 인해 결절의 뒷부분을 치료하기 어려울 수 있어 주의를 요한다. 시술을 진행하면서 결절의 변연부에 위치한 배수정맥(drainage vein)까지 함께 절제하는(marginal venous ablation technique) 것이 결절의 완전한 괴사를 위해 도움이 될 수 있다(13). 정맥을 직접 천자하여 절제하거나, 정맥의 바로 옆 결절부위에서 지속적으로 열을 가하여 절제할 수 있다. 정맥의 절제가 잘 시행되면 결절 변연부를 따라 고에코의 선(hyperechoic arc)이 생긴 것을 관찰할 수 있으며, 이는 결절이 변연부까지 완전히 절제되었다는 것을 의미한다(Fig. 5). 변연부정맥절제는 결절의 변연부 재발을 예방할 수 있는 중요한 기술이다. 단, 고주파절제를 시작할 때 동맥보다 정맥을 먼저 절제하면 정맥 배수가 되지 않아 결절 주변 갑상선 실질에 부종이 생기고, 이로 인해 환자의 시술 중 통증이 심해질 수 있다는 점을 주의해야 한다.

갑상선결절과 주변 중요기관과의 거리가 가까운 경우 이 둘 사이에 액체를 주입하여 거리를 인위적으로 넓히는 수력분리술(hydrodissection)이 안전하고 효과적인 치료를 위해 필요하다(Fig. 6) (20, 21). 사용하는 액체는 생리 식염수보다는 5% 포도당액을 추천한다. 생리식염수에는 음이온이 포함되어 있기 때문에 전기를 전달해 주변 조직의 열 손상을 유발할 수 있고, 주변으로 쉽게 퍼지기 때문에 공간분리효과가 떨어진다. 반면 5% 포도당액은 등삼투압의 비이온성 액체로 전기를 전달하지 않기 때문에 주변 중요 구조에 대한 열장벽 역할을 할 수 있고, 식염수보다 주변으로 퍼지는 속도가 느려 공간분리효과가 상대적으로 길게 유지될 수 있다(13, 22). 수력분리술을 위해 비늘

Fig. 4. Artery-first ablation technique.

A. Axial ultrasound scan shows a feeding artery (arrows) at the medial side of upper part of benign left thyroid nodule before RFA.

B. Axial ultrasound scan shows an electrode tip (short arrow) approaching the feeding artery (long arrow) of the nodule at the beginning of RFA.

C. Axial ultrasound scan shows well ablated feeding artery (long arrow) and hypoechoic infarcted area of the nodule (short arrows).

RFA = radiofrequency ablation



Fig. 5. Marginal venous ablation technique.

A. Longitudinal ultrasound scan shows right thyroid mass with abundant draining veins (arrows) along nodule margin.

B. Longitudinal ultrasound scan shows well performed marginal venous ablation with hyperechoic arc (arrows) along the nodule margin.

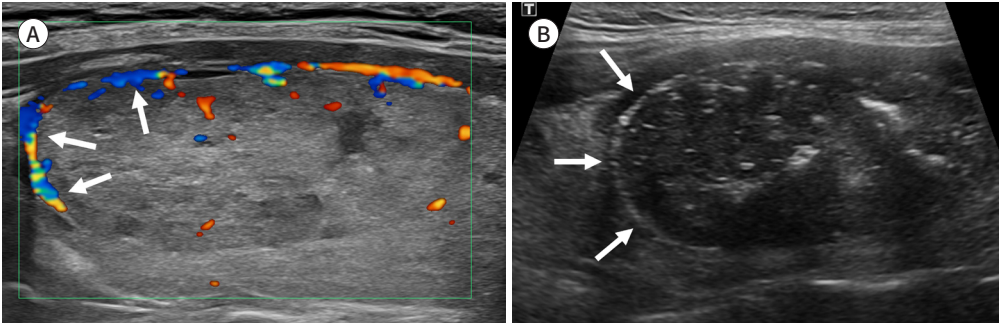
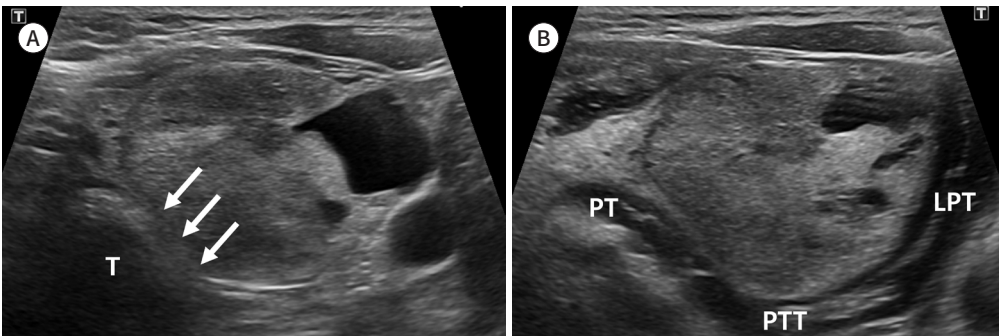


Fig. 6. Hydrodissection technique.

A. Axial ultrasound scan shows 3.5 cm benign left thyroid nodule attached to the tracheal wall (arrows).

B. Axial ultrasound scan shows successful hydrodissection. Five percent dextrose water is well introduced through the PT, extending to the PTT and LPT.

T = trachea, PT = pre-tracheal space, PTT = posterior perithyroidal space, LPT = lateral perithyroidal space



을 진입시키는 경로에 대한 다양한 제안이 있으며, 시술자는 치료할 결절의 위치에 따라 가장 적합한 경로를 선택하면 된다. 피막 마취를 시행한 후 연속으로 시행하는 anterolateral approach, 기관의 앞쪽에서 협부를 관통하여 기관 앞 공간으로 바늘을 진입시켜 기관과 갑상선을 분리시키는 pre-tracheal approach, 협부에서 기관 옆을 따라 되돌이후두신경이 존재하는 tracheoesophageal groove 주변까지 바늘을 진입시키는 danger triangle approach, 외측에서 경동정맥의 뒤쪽을 통해 갑상선의 후방으로 바늘을 진입시키는 posterior approach 등이 제안되었다(23). 최근 anterolateral approach로 지속적인 액체 주입을 하면 갑상선의 전방, 외측, 후방까지 수력분리술을 시행할 수 있고, 이를 통해 환자의 치료 시 통증도 경감시킬 수 있다는 논문이 발표되었다(20). 같은 원리로 pre-tracheal approach 후 지속적으로 액체를 주입하면 danger triangle과 갑상선 외측부위까지 수력분리술을 시행할 수 있다. 수력분리술을 시행하였어도 중요 구조물 주변에서 절제를 시도할 때는 과도한 열이 가해져 합병증이 생기는지 지속적으로 주의해야 한다.

갑상선결절과 총경동맥이 인접한 갑상선결절의 외측 부위를 치료할 때는 총경동맥 주변에 있는 미주신경(vagus nerve), 중간목교감신경절(middle cervical sympathetic ganglion) 등의 위치를

잘 확인하여 신경 손상이 생기지 않도록 주의해야 한다. 또한, 총경동맥이 열흡수 효과를 유발하여 결절에 대한 치료 효과를 낮출 수 있음도 고려되어야 한다. 치료를 끝내기 전 결절 전체를 살펴 치료가 덜 되어 보이는 부분에는 추가로 열을 가할 필요가 있는데, 특히 총경동맥에 접한 부분에 추가 치료할 때는 전극을 들어 올려(tilting) 결절과 총경동맥을 분리시킨 후 절제를 시도하는 것이 유용할 수 있다.

추적검사 및 추가 치료

고주파절제 시행 전 추가 치료가 필요할 수 있음과 덜 치료된 부분이 재발을 유발할 수 있음을 환자에게 설명해야 한다. 시술 후 추적은 1-2개월, 6개월, 이후 6-12개월 간격으로 시행하도록 권고된다(4). 비독성갑상선결절의 경우 증상 및 외모상 변화의 호전 여부를 확인해야 하며, 초음파검사를 통해 결절의 부피감소 정도, 결절 전체 부피와 덜 치료된 부위 부피 간의 비율의 변화, 결절 내 혈류량의 변화 등을 확인해야 한다(24). 자율기능성결절의 치료 후에는 추가적으로 갑상선독증 증상의 변화, 갑상선기능의 호전 여부, 갑상선스캔 검사의 변화 등도 확인해야 한다. 증상이나 외모상의 문제가 남아 있을 때나, 초음파상 치료 안 된 부위가 성장하고 뚜렷한 혈류량 증가 소견을 보이는 경우에는 재발을 막기 위해 추가 치료를 고려하게 된다. 자율기능성결절에 대한 추가 치료 결정은 초음파나 스캔 상의 변화보다는 갑상선자극호르몬 수치의 호전 여부를 가장 중요한 기준으로 삼아야 한다. 추가 치료는 대부분 첫 치료보다 난이도가 높다. 치료 후 괴사된 조직은 단단하여 결절 내에서 전극을 이동시킬 때 어려움을 유발하고, 치료해야 할 덜 치료된 부분은 대부분 주변의 중요 구조들과 인접하여 위치하기 때문이다. 치료할 때 가능한 짧은 active tip을 가진 전극을 이용하고, 안전한 치료를 위해 수력분리술을 적극적으로 활용해야 한다.

합병증

갑상선고주파절제를 시행하는 의사는 환자의 합병증을 최소화하기 위해 갑상선과 갑상선 주변에 대한 초음파해부지식을 가지고 있어야 하며 발생 가능한 합병증의 종류, 증상과 대처 방법에 대해 알고 있어야 한다. 지금까지 보고된 갑상선고주파절제의 합병증 및 부작용은 통증, 목소리 변형, 출혈, 일시적 갑상선중독증, 갑상선기능저하증, 감염 및 농양형성, 종양파열, 피부화상, 오심, 구토, 혈관미주신경반사, 국소마취제 독성, 호너증후군, 미주신경(vagus nerve) 손상, 척추보조신경(spinal accessory nerve) 손상 등 다양하다(25-27). 시술자는 시술 중 환자와 대화하며 환자의 불편한 정도와 목소리 변화 등 합병증 발생 여부를 확인해야 하고, 합병증 발생이 의심되면 즉시 시술을 중단해야 한다.

통증은 시술과 관련된 가장 흔한 증상이다. 치료하는 목 부위에 주로 통증을 호소하지만 치아, 머리, 귀, 어깨, 가슴 등에도 통증을 호소할 수 있는데 이는 연관통(referred pain)으로 생각된다. 일부 연구자들은 시술 중 통증을 조절하기 위해서 정맥주사제를 사용하기도 하지만 환자의 의식을 저하시키는 정맥주사제는 시술 중 환자와의 의사소통을 방해하여 합병증을 조기에 발견하기

어렵게 할 수 있어 권고하지 않는다. 대부분의 경우 통증 조절을 위해서 고주파 출력을 낮추어 시술하거나 시술을 잠시 멈추면 빠르게 통증이 소실되어 시술을 재개할 수 있다(4, 26, 28).

시술 도중의 출혈은 초음파로 쉽게 발견된다. 출혈 및 혈종은 마취 도중이나 시술 중 또는 직후에 발생할 수 있으며 갑상선주변부출혈, 피막하출혈, 실질내출혈 등의 형태로 발생한다. 출혈로 인한 혈종이 너무 크거나 이로 인한 불편함이 심한 경우, 또는 전극 진입 경로를 따라서 혈액이 피부로 새어 나오는 경우 등에서는 시술을 중단하고 수분 정도 목에 가벼운 압박을 가하여 지혈한 후 시술을 계속할 수 있다(26-31). 대부분의 혈종은 가벼운 압박으로 잘 멈추며 큰 혈종도 1-2주 내에 완전히 사라진다. 매우 드물지만 다량의 급성 출혈은 기도압박에 의한 질식의 우려가 있으므로 발생 시 충분히 잘 관찰해야 한다. 출혈을 피하기 위해서는 시술 전 초음파로 상갑상선동맥을 포함한 갑상선 주변 혈관들의 위치를 잘 확인하고 혈관을 피하여 마취바늘과 전극을 삽입해야 한다.

목소리변형은 중증 합병증의 하나로 되돌이후두신경 손상이 주된 원인이지만 미주신경 손상으로 도 발생할 수 있다(26-32). 특히, 갑상선의 후내측에 위치한 결절 부위를 치료할 때 되돌이후두신경 손상을 주의해야 한다. 목소리변형은 시술 도중 또는 직후에 발생되지만 시간이 경과하면서 다음날 발생하는 경우도 있다. 이는 부종에 의한 압박이나 열손상이 지속적으로 신경에 가해지기 때문인 것으로 생각된다. 목소리 변형은 추적 관찰 시 1-3개월 내에 호전되지만 드물게 영구적 손상으로 이어질 수도 있다. 미주 신경은 흔히 경동맥과 경정맥 사이의 뒤쪽에 위치하지만, 때로는 주로 목의 아래쪽에서 미주신경의 위치가 변화돼 갑상선결절과 근접할 수 있다(32). 이러한 모습은 초음파로 관찰할 수 있으며 시술 시 주의를 요하지 않으면 미주신경 손상에 의해 목소리 이상, 장운동 저하 및 심장박동 이상 등을 유발할 수 있다. 미주신경의 위치 변화는 정상 변이에 의할 수도 있지만 갑상선결절이 커지면서 경동맥초(carotid sheath)를 누르는 경우에도 발생할 수 있다(32). 그러므로 시술 전 반드시 미주신경의 위치를 초음파로 확인해야 하고, 신경과 맞닿은 부위를 시술할 경우 반드시 주의해야 한다. 중간목교감신경절은 경동맥초 뒤쪽 또는 갑상선측면 근처에 위치하므로 시술 도중 고주파전극이 갑상선 밖으로 벗어나면 신경절이 손상되어 호너증후군(Horner syndrome)이 발생할 수 있다(33). 신경 손상을 방지하기 위해 5% 포도당액을 인접한 각 신경과 결절 사이에 주입하는 수력분리술을 이용하여 시술을 진행해야 하며, 시술 중 신경손상이 의심되는 경우에는 차가운 5% 포도당액을 신경과 결절 사이에 지속적으로 주입시켜 신경의 온도를 낮추면 신경 회복을 유도할 수 있다(34, 35). 또한, 시술 중 신경 손상이 발생할 것에 대비하여 시술실 냉장고에 5% 포도당액을 보관하는 것이 도움이 된다.

고주파절제에 의해 일시적인 갑상선호르몬 분비 증가가 유발돼 시술 후 갑상선독증이 발생할 수 있는데, 이로 인한 증상은 대부분 없거나 경미하며 1-2개월 내에 정상으로 회복된다고 보고되었다. 드물게 치료 후 지속적인 갑상선기능항진증 및 갑상선기능저하증에 대한 보고도 있어 최소한 시술 후 첫 추적 시에는 갑상선기능검사를 시행하는 것이 필요하다(26-31). 하지만 거의 대부분의 환자에서 고주파절제 시행 후 갑상선기능은 정상으로 보존된다. 한쪽 갑상선이 수술로 제거된 환자에서 남아있는 반대쪽 갑상선에 생긴 결절을 고주파절제한 경우와 갑상선 양엽의 갑상선결절을 고주파절제한 경우 각각에서 시술 후 갑상선기능이 잘 보존되었음이 보고된 바 있다(36, 37).

고주파절제 후 치료한 결절의 크기가 점점 감소하다가 시술 부위에 통증을 동반한 경부 종창이

발생한 경우 시술한 갑상선결절의 파열을 의심할 수 있다(26, 29, 31). 파열은 시술 후 9-60일 사이에 발생할 수 있으며 시술한 결절 내에 발생한 급격한 출혈을 원인으로 추정한다. 시술한 결절을 마사지하거나 지속적으로 만진 경우 잘 발생한다고 알려져 있어, 시술한 부위는 되도록 만지지 말고 경부에 압박을 가하지 말도록 환자를 잘 교육해야 한다. 종양의 파열은 초음파로 진단 할 수 있고, 갑상선피막의 파열과 갑상선 주변 조직으로 연결된 혈종을 쉽게 확인할 수 있다. 작은 크기의 파열은 치료 없이 호전될 수 있으나, 파열로 염증이거나 농양이 생겨 수술적 치료가 필요했던 증례도 보고된 바 있다(38, 39).

결론

양성갑상선결절의 고주파절제를 효과적이고 안전하게 시행하기 위해서 시술자는 대상 환자를 적절하게 선정하고, 고주파절제의 원리, 치료 기구, 시술법 및 합병증에 대한 충분한 지식을 습득해야 하며, 초음파를 이용한 시술에 익숙해지도록 경험을 축적해야 한다.

Supplementary Materials

English translation of this article is available with the Online-only Data Supplement at <https://doi.org/10.3348/jksr.2023.0069>.

Conflicts of Interest

The author has no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

None

REFERENCES

- 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;9:172-185
- Papini E, Pacella CM, Solbiati LA, Achille G, Barbaro D, Bernardi S, et al. Minimally-invasive treatments for benign thyroid nodules: a Delphi-based consensus statement from the Italian minimally-invasive treatments of the thyroid (MITT) group. *Int J Hyperthermia* 2019;36:376-382
- Na DG, Lee JH, Jung SL, Kim JH, Sung JY, Shin JH, et al. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules and recurrent thyroid cancers: consensus statement and recommendations. *Korean J Radiol* 2012;13:117-125
- Kim JH, 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* 2017;19:632-655
- Baek JH, Na DG, Lee JH, Jung SL, Sung JY, Sim JS, et al. Korean society of thyroid radiology recommendations for radiofrequency ablation of thyroid nodules. Available at: <https://www.thyroidimaging.kr/bbs/index.html?code=pds&category=A&gubun=&page=2&number=6&mode=view&keyfield=&key=>. Published 2009. Accessed September 6, 2023
- Orloff LA, Noel JE, Stack BC Jr, Russell MD, Angelos P, Baek JH, et al. Radiofrequency ablation and related ultrasound-guided ablation technologies for treatment of benign and malignant thyroid disease: an international multidisciplinary consensus statement of the American Head and Neck Society Endocrine Surgery Section with the Asia Pacific Society of Thyroid Surgery, Associazione Medici Endocrinologi, British Association of Endocrine and Thyroid Surgeons, European Thyroid Association, Italian Society of Endocrine Surgery Units, Korean Society of Thyroid Radiology, Latin American Thyroid Society, and Thyroid Nodules Therapies Association. *Head Neck* 2022;44:633-660
- Dobnig H, Zechmann W, Hermann M, Lehner M, Heute D, Mirzaei S, et al. Radiofrequency ablation of thyroid

nodules: “good clinical practice recommendations” for Austria : an interdisciplinary statement from the following professional associations: Austrian Thyroid Association (ÖSDG), Austrian Society for Nuclear Medicine and Molecular Imaging (OGNMB), Austrian Society for Endocrinology and Metabolism (ÖGES), Surgical Endocrinology Working Group (ACE) of the Austrian Surgical Society (OEGCH). *Wien Med Wochenschr* 2020;170:6-14

8. Ha EJ, Baek JH, Che Y, Chou YH, Fukunari N, Kim JH, et al. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules: recommendations from the Asian Conference on Tumor Ablation Task Force. *Ultrasonography* 2021; 40:75-82
9. Sung JY, Baek JH, Jung SL, Kim JH, Kim KS, Lee D, et al. Radiofrequency ablation for autonomously functioning thyroid nodules: a multicenter study. *Thyroid* 2015;25:112-117
10. Baek JH, Lee JH, Valcavi R, Pacella CM, Rhim H, Na DG. Thermal ablation for benign thyroid nodules: radiofrequency and laser. *Korean J Radiol* 2011;12:525-540
11. Goldberg SN. Radiofrequency tumor ablation: principles and techniques. *Eur J Ultrasound* 2001;13:129-147
12. Lee J, Shin JH, Hahn SY, Park KW, Choi JS. Feasibility of adjustable electrodes for radiofrequency ablation of benign thyroid nodules. *Korean J Radiol* 2020;21:377-383
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;18:615-623
14. Ahn HS, Kim SJ, Park SH, Seo M. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules: evaluation of the treatment efficacy using ultrasonography. *Ultrasonography* 2016;35:244-252
15. Huh JY, Baek JH, Choi H, Kim JK, Lee JH. Symptomatic benign thyroid nodules: efficacy of additional radiofrequency ablation treatment session—prospective randomized study. *Radiology* 2012;263:909-916
16. Baek JH, Ha EJ, Choi YJ, Sung JY, Kim JK, Shong YK. Radiofrequency versus ethanol ablation for treating predominantly cystic thyroid nodules: a randomized clinical trial. *Korean J Radiol* 2015;16:1332-1340
17. Ha EJ, Baek JH, Lee JH. Moving-shot versus fixed electrode techniques for radiofrequency ablation: comparison in an ex-vivo bovine liver tissue model. *Korean J Radiol* 2014;15:836-843
18. Park HS, Baek JH, Choi YJ, Lee JH. Innovative techniques for image-guided ablation of benign thyroid nodules: combined ethanol and radiofrequency ablation. *Korean J Radiol* 2017;18:461-469
19. Lim HK, Lee JH, Ha EJ, Sung JY, Kim JK, Baek JH. Radiofrequency ablation of benign non-functioning thyroid nodules: 4-year follow-up results for 111 patients. *Eur Radiol* 2013;23:1044-1049
20. Jeong SY, Baek JH, Chung SR, Choi YJ, Chung KW, Kim TY, et al. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules: the value of anterolateral hydrodissection. *Ultrasonography* 2023;42:432-439
21. Shin JH, Baek JH, Ha EJ, Lee JH. Radiofrequency ablation of thyroid nodules: basic principles and clinical application. *Int J Endocrinol* 2012;2012:919650
22. Laeseke PF, Sampson LA, Brace CL, Winter TC 3rd, 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-S254
23. Chung SR, Baek JH, Choi YJ, Lee JH. Thermal ablation for the management of papillary thyroid microcarcinoma in the era of active surveillance and hemithyroidectomy. *Curr Oncol Rep* 2022;24:1045-1052
24. Sim JS, Baek JH, Lee J, Cho W, Jung SI. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules: depicting early sign of regrowth by calculating vital volume. *Int J Hyperthermia* 2017;33:905-910
25. Jung SL, Baek JH, Lee JH, Shong YK, Sung JY, Kim KS, et al. Efficacy and safety of radiofrequency ablation for benign thyroid nodules: a prospective multicenter study. *Korean J Radiol* 2018;19:167-174
26. 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;262:335-342
27. Ha EJ, Baek JH, Lee JH. The efficacy and complications of radiofrequency ablation of thyroid nodules. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 2011;18:310-314
28. Wang JF, Wu T, Hu KP, Xu W, Zheng BW, Tong G, et al. Complications following radiofrequency ablation of benign thyroid nodules: a systematic review. *Chin Med J (Engl)* 2017;130:1361-1370
29. 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 Hyperthermia* 2017;33: 920-930
30. Ha EJ, Baek JH, Lee JH. Ultrasonography-based thyroidal and perithyroidal anatomy and its clinical signifi-

- cance. *Korean J Radiol* 2015;16:749-766
31. Kim C, Lee JH, Choi YJ, Kim WB, Sung TY, Baek JH. Complications encountered in ultrasonography-guided radiofrequency ablation of benign thyroid nodules and recurrent thyroid cancers. *Eur Radiol* 2017;27:3128-3137
 32. Ha EJ, Baek JH, Lee JH, Kim JK, Shong YK. Clinical significance of vagus nerve variation in radiofrequency ablation of thyroid nodules. *Eur Radiol* 2011;21:2151-2157
 33. Shin JE, Baek JH, Ha EJ, Choi YJ, Choi WJ, Lee JH. Ultrasound features of middle cervical sympathetic ganglion. *Clin J Pain* 2015;31:909-913
 34. Chung SR, Baek JH, Choi YJ, Lee JH. Management strategy for nerve damage during radiofrequency ablation of thyroid nodules. *Int J Hyperthermia* 2019;36:204-210
 35. Lee MK, Baek JH, Chung SR, Choi YJ, Lee YM, Kim TY, et al. Effectiveness of injecting cold 5% dextrose into patients with nerve damage symptoms during thyroid radiofrequency ablation. *Endocrinol Metab (Seoul)* 2020;35:407-415
 36. Ha EJ, Baek JH, Lee JH, Sung JY, Lee D, Kim JK, et al. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules does not affect thyroid function in patients with previous lobectomy. *Thyroid* 2013;23:289-293
 37. Hong MJ, Baek JH, Choi YJ, Lee JH, Lim HK, Shong YK, et al. Radiofrequency ablation is a thyroid function-preserving treatment for patients with bilateral benign thyroid nodules. *J Vasc Interv Radiol* 2015;26:55-61
 38. Shin JH, Jung SL, Baek JH, Kim JH. Rupture of benign thyroid tumors after radio-frequency ablation. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011;32:2165-2169
 39. Chung SR, Baek JH, Sung JY, Ryu JH, Jung SL. Revisiting rupture of benign thyroid nodules after radiofrequency ablation: various types and imaging features. *Endocrinol Metab (Seoul)* 2019;34:415-421

양성갑상선결절에 대한 효과적이고 안전한 고주파절제의 적용

성진용*

고주파절제는 외모상의 문제나 경부 압박 증상을 유발하는 양성갑상선결절에 대한 대표적인 비수술적 치료법으로 시술은 효과적이면서도 안전하게 시행되어야 한다. 이 종설은 갑상선 고주파절제에 대한 권고안들과 연구 논문들을 참조하여 대상 환자 선정, 시술 전 평가 및 치료 계획, 치료 원리 및 치료 기구, 시술법, 합병증 등에 대한 정보를 제공하려는 목적으로 작성되었다. 특히 시술법에 많은 부분을 할애해 시술 시행에 실질적인 도움을 주고자 한다.

대림성모병원 갑상선센터 영상의학과