

热消融治疗原发性甲状旁腺功能亢进症的研究进展*

李树雄 综述 杨声飞 魏梦灵 黎东伟** 审校

(广东医科大学第一临床医学院, 湛江 524023)

中图分类号: R6

文献标识: A

文章编号: 1009-6604(2026)05-0308-08

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2026.05.009

原发性甲状旁腺功能亢进症(primary hyperparathyroidism, PHPT)是由于甲状旁腺过度增生、瘤性变甚至癌变导致甲状旁腺激素(parathyroid hormone, PTH)分泌过多,出现骨折、骨质疏松、泌尿系结石、心血管钙化等症状,是继糖尿病和甲状腺疾病之后常见的内分泌疾病之一^[1]。高达 85% 的 PHPT 是由甲状旁腺腺瘤所致,其中以单个甲状旁腺腺瘤为多见^[2]。手术切除异常甲状旁腺腺体是目前治疗 PHPT 的主要手段^[3],但由于技术的限制难以实现精细化分离,常导致创伤大、恢复慢、术后瘢痕明显等问题。因此,迫切需要一种能够有效改善上述问题的新型治疗方式。随着前沿技术的不断进步,高频超声精准定位甲状旁腺技术逐渐成熟。Carral 等^[4]的研究显示,针对 98 例最大径(1.7 ± 0.9) cm 的甲状旁腺腺瘤,其定位灵敏度为 85% (95% CI: 75.7% ~ 91.2%),阳性预测值(positive predictive value, PPV)可达 95.2% (95% CI: 87.5% ~ 98.4%)。超声引导热消融具有实时超声监控、创伤小、恢复快、美观性好等特点,且与传统外科手术治疗 PHPT 的疗效相当,逐渐成为新时代治疗甲状旁腺腺瘤的一种较好的方式^[5]。本文通过文献回顾,对热消融治疗 PHPT 的研究进展进行总结和分析。

1 文献检索策略与证据评价

为全面评估热消融治疗 PHPT 的研究进展,以“primary hyperparathyroidism, thermal ablation,

radiofrequency ablation, microwave ablation, laser ablation, high-intensity focused ultrasound”为英文检索词,以“原发性甲状旁腺功能亢进症、热消融、射频消融、微波消融、激光消融、高强度聚焦超声”为中文检索词,在 PubMed、中国知网(CNKI)、万方数据和维普数据库中检索 2001 年 1 月 1 日~2025 年 1 月 1 日的相关文献,并对其进一步筛选、归纳分析与总结,最终纳入 46 篇相关文献进行综述。

1.1 纳排标准

纳入标准:①研究对象为人类;②经临床或病理确诊为 PHPT;③以热消融(包括但不限于射频、微波、激光、高强度聚焦超声)作为核心治疗手段;④研究热消融治疗 PHPT 的临床价值,结果至少包含 1 项核心结局指标(PTH 水平、血钙水平、腺瘤体积变化、治愈率、成功率或并发症发生率)的具体数据,且比较消融前后的临床结果;⑤研究类型为系统综述(systematic reviews, SR)、meta 分析、随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)、前瞻性队列研究、回顾性队列研究或样本量 ≥ 30 例。

排除标准:①热消融仅作为辅助而非主要治疗手段;②重复发表或数据无法提取及验证;③研究方法学质量低下或偏倚风险高。

1.2 文献筛选和质量评价

文献筛选由 2 名研究者独立完成,首先根据题目与摘要排除明显不相关的文献,随后获取全文进行精读,依据纳排标准决定最终纳入文献。对于纳入的研究,采用 GRADE(Grading of Recommendations

* 基金项目:广东省东莞市社会科技发展(重点)项目(202050715046226)

** 通讯作者, E-mail: ldw00696@163.com

Assessment, Development and Evaluation) 方法对关键结局(如生化治愈率、并发症发生率等)进行证据质量分级。GRADE 规定:RCT 起始为高级证据,观察性研究起始为低级证据,随后根据研究的局限性、不一致性、不精确性、间接性和发表偏倚等因素进行降级;对于观察性研究,若存在效应量大等因素则考虑升级。最终证据等级分为高、中、低、极低 4 个级别,并在文中相应结果处标注。

2 PHPT 治疗现状及问题

随着超声诊断技术的不断提升和超声引导细针穿刺活检(ultrasound-guided fine needle aspiration biopsy, US-FNAB)的广泛应用,甲状旁腺腺瘤的检出率日益升高。PHPT 诊疗逐渐成为国内外关注的焦点,其诊疗策略尚存在较大争议。临床上可供选择的治疗方式主要包括甲状旁腺切除术(parathyroidectomy, PTX)、药物治疗、监测等待和超声引导热消融。PTX 的优势在于能够直接切除病变组织,从而快速缓解症状并降低复发风险,最早由 Felix Mandl 于 1926 年提出,一直是治疗 PHPT 最常用的手段^[6]。无论是症状性腺瘤,还是导致显著生化异常或靶器官受累的无症状腺瘤,均可通过完全切除腺瘤来纠正高钙血症,治愈率较高^[7]。2022 年国际 PHPT 评估与管理指南^[8]中基于 GRADE 方法的 SR 显示,由经验丰富的外科医生实施 PTX,无症状 PHPT 患者生化治愈率高达 97.8% (证据等级:高)。虽然疗效可观,但严重的术后并发症如喉返神经损伤^[9]、甲状腺炎^[10]、永久性甲状旁腺功能减退^[11]、术中大量出血^[12]等风险亦不容忽视。喉返神经损伤是最严重的并发症之一,单侧损伤可引起声音嘶哑,双侧损伤则会导致气道闭塞和窒息,危及生命。术后甲状腺炎的表现可从轻微症状到快速心律失常甚至心肌梗死,对预后的影响极大。甲状旁腺功能减退引起低钙血症,会出现面部、口周麻木和手足抽搐等,显著降低患者术后生活质量。此外,术后瘢痕明显、有基础疾病的老年人难以耐受手术、个人意愿等原因,也使部分患者不适合或不愿意接受开放性手术。综上,PTX 作为目前的主要治疗手段仍然存在很大的局限性和弊端。

另一种处理方式即非手术治疗。西那卡塞(钙敏感受体激动剂)可降低血清钙和 PTH 水平,维生

素 D、雌激素、地舒单抗、阿仑膦酸钠、利塞膦酸钠等抗骨吸收药物可增加骨密度,对于不适合手术的患者,药物治疗尤其是西那卡塞,提供了一种非手术治疗的选择^[13],但需要长期用药,并可能存在副作用。此外,对于无症状或低风险、无手术指征且不希望进行手术的患者,监测等待策略可以避免立即手术^[14]。然而,监测等待也存在缺点:首先,虽然甲状旁腺腺瘤是良性肿瘤,但其仍有恶变的可能,需要定期进行实验室检查和骨密度检查以及时发现病情变化^[8];其次,这种长期携带肿瘤生存的状态会给患者增加焦虑、恐惧的心理负担。

近年来,随着对手术瘢痕影响美观、术后并发症、药物不良反应等的关注日益增加,超声引导热消融成为患者更渴望的治疗方式。

3 热消融技术临床应用

热消融的原理是利用不同的热源使组织或细胞在高温下发生蛋白质变性、凝固性坏死。目前,超声引导经皮热消融技术主要有射频消融、微波消融、激光消融和高强度聚焦超声消融。参考中国《原发性甲状旁腺功能亢进热消融治疗专家共识(2021 版)》及相关研究^[15,16],对核心疗效指标的定义总结如下:治愈,也称生化治愈,为热消融后血钙及全段甲状旁腺激素(intact parathyroid hormone, iPTH)均正常,持续时间 >6 个月,是一种客观、可量化的终点;症状治愈为 PHPT 相关骨痛、乏力、肾绞痛等症术后 6 个月至 1 年内消失,是一种主观性的终点,可滞后于生化指标;完全缓解为同时达到生化治愈和症状治愈;部分缓解为血钙及血 iPTH 术后较基线水平下降但未达正常范围,且症状仅部分改善;症状显著改善为 PHPT 相关骨痛、乏力等症状较基线改善程度 $\geq 50\%$ 或基本消失。临床成功率为完全缓解与部分缓解病例数之和占总病例数的百分比;治愈率为生化治愈率,即术后 6 个月达到生化治愈标准的患者比例。持续性 PHPT 为血钙及血 iPTH 术后未能达到正常值范围;复发性 PHPT 为血钙及血 iPTH 术后达到正常值范围,但 6 个月后又高于正常值。

3.1 射频消融

射频消融的原理是在超声引导下将射频电极精准置入病灶,利用高频电流产生的热能使局部温度迅速升高,导致细胞凝固性坏死,最终实现消融目

的。射频消融作为治疗 PHPT 最成熟、应用最广泛的消融手段,疗效确切且安全性高。Ghanassia^[17]指出,大量回顾性研究(主要来自亚洲)、2022 年首次发表的前瞻性多中心研究和一篇 meta 分析证实,射频消融后 6 个月血钙及 PTH 水平降低,12 个月时疗效稳定、一致,生化治愈率可达 84%~89%,一过性声音改变发生率约为 5% (证据等级:中)。

Hussain 等^[18]于 2021 年报道美国首例射频消融治疗 PHPT,采用经峡部入路,水分离保护喉返神经,术后 12 个月复查,血钙水平从术前 11.5 mg/dl 降至 9.8 mg/dl (正常值 8.4~10.4 mg/dl),iPTH 从 104 pg/ml 降至 84 pg/ml (正常值 22~94 pg/ml),临床症状显著缓解,腺瘤体积从 0.16 cm³ 缩小至 0.03 cm³ (体积缩减率达 80.7%),无任何并发症发生。随后,射频消融治疗 PHPT 的临床研究^[19~23]越来越多,结果均表明腺瘤体积显著缩小和血 PTH、钙、磷及碱性磷酸酶水平显著降低,临床症状随之明显改善,且无复发及远期并发症,仅少数病例出现短暂声音嘶哑或低钙血症,均自行或对症治疗后恢复。León Utrero 等^[24]的前瞻性研究纳入 29 例 PHPT,射频消融治疗后平均随访 16.29 月,48.28% (14/29) 达到生化治愈(血清钙与 PTH 均恢复正常),37.93% (11/29) 部分缓解(血钙正常,PTH 降低但仍高于正常),持续性 PHPT 仅 13.79% (4/29),安全性方面仅 2 例发声困难,无低钙血症或甲状旁腺功能减退(证据等级:低)。Chehrehgosha 等^[25]的回顾性研究包括 60 例射频消融治疗 PHPT,术后 6 个月,血 iPTH 由基线的(155.3±114.4)pg/ml 显著降至(76.2±45.9)pg/ml,血钙由(2.66±0.22)mmol/L 降至(2.37±0.14)mmol/L (均 $P < 0.001$),腺瘤体积从(5.1±4.9)ml 降至(0.4±0.7)ml,缩小率高达(89.0±20.8)%,且 52% (31/60) 的腺瘤在超声上完全消失,仅发生 2 例轻微血肿和 1 例一过性声音嘶哑[均为欧洲心血管和介入放射学会(Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe, CIRSE)分级 1 级],无严重并发症(证据等级:低)。Peng 等^[16]回顾 51 例射频消融治疗 PHPT,术后 12 个月 86% (44/51) 的患者血钙与 iPTH 均恢复正常,且无严重并发症发生,基线 iPTH ($OR = 1.067, P = 0.045$) 和血钙水平 ($OR = 3.923, P = 0.038$) 是术后 1 个月 iPTH 未降至正常的独立

影响因素,但不会增加 PHPT 复发的风险(证据等级:低)。由此可见,射频消融可能是未来治疗 PHPT 的一种有效且安全的微创方法,但目前研究多为回顾性研究和单臂前瞻性研究,证据等级普遍为低级别,未来仍需开展大规模、前瞻性的 RCT,以提供更高级别的循证医学证据。

射频消融也存在一定的局限性:①高温($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$)使组织干燥、碳化,阻抗骤升,导致电流难以穿透,消融范围受限;②对于妊娠期或有植入式心律转复除颤器(implantable cardioverter defibrillator, ICD)的患者,治疗可能面临胎儿潜在损伤或干扰 ICD 正常功能的风险^[26];③射频消融存在“散热效应”,毗邻大血管的病灶,血流持续带走热量,局部温度难以升至阈值,易致肿瘤残留。未来可通过材料和温控技术的革新以避免组织碳化和散热的弊端,同时建立针对妊娠及 ICD 患者的模拟培训,为临床提供可扩展、低风险的射频消融解决方案。

3.2 微波消融

微波消融最初是一种用于局部肿瘤的微创根治性治疗方法,近 20 年来在甲状旁腺肿瘤治疗中的应用日益增多。与射频消融一样,其可以通过置入瘤内的天线发射 900~2450 MHz 的微波,激发组织内的极性分子(主要为水)高速旋转,摩擦生热,瞬时升温引起细胞凝固性坏死^[27]。与射频消融不同的是,微波消融不依赖于电流和组织传导,即使温度 $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$,也不会因组织干燥而影响消融能量的持续传递和疗效达成。此外,微波升温快,能量沉积高,并可同时置入多根天线,实现大体积或多灶肿瘤的协同消融。

魏莹等^[28]的大样本回顾性研究纳入 96 例,中位随访 18.5 月,结果显示,术后 6 个月生化治愈率达 88.54% (85/96),病灶体积缩小率为 74.20%,主要并发症声音嘶哑发生率 5.21% (5/96),6 个月内均恢复,无严重并发症发生(证据等级:中)。Ye 等^[29]的 SR 与 meta 分析纳入 5 项研究(4 项回顾性研究和 1 项前瞻性研究共 84 例患者),结果显示热消融治疗 PHPT 可显著降低 PTH 和血钙水平,其中 PTH 在消融后 3 个月(标准化平均差 $-1.09, 95\% CI: -1.42 \sim -0.76, P < 0.001$)和 6 个月(标准化平均差 $-1.13, 95\% CI: -1.46 \sim -0.80, P < 0.001$)均显著下降,血钙水平在消融后 3 个月(平

均差 -0.31 , 95% *CI*: $-0.50 \sim -0.12$, $P = 0.001$) 及 6 个月(平均差 -0.31 , 95% *CI*: $-0.46 \sim -0.17$, $P < 0.001$) 亦显著下降; 安全性方面, 最常见并发症为短暂性发声困难(20.2%) 及皮下水肿(6.0%), 未见严重并发症或死亡(证据等级: 中)。为了比较微波消融与外科手术的疗效, Liu 等^[30] 进行回顾性、倾向性评分匹配研究, 从 108 例符合纳入标准的患者中, 通过倾向性评分匹配筛选 28 例超声引导微波消融和 28 例外科切除术, 结果显示 2 组治愈率相当(82.1% vs. 89.3%, $P = 0.705$), 而微波消融微创性优势显著, 如手术时间短[(22.0 ± 6.3) min vs. (77.8 ± 50.6) min, $P < 0.001$], 出血量少[(1.7 ± 0.4) ml vs. (20.0 ± 21.3) ml, $P < 0.001$], 且 2 组总体并发症发生率差异无显著性(21.4% vs. 25.0%, $P = 0.752$) (证据等级: 中)。该研究团队为了比较微波和射频消融技术的疗效进一步开展前瞻性、多中心研究^[31], 对 132 例 PHPT 患者进行 6 个月 ~ 3 年随访, 其中微波消融 91 例, 射频消融 41 例, 结果显示, 微波消融与射频消融的治愈率[80.22% (73/91) vs. 80.49% (33/41), $P = 0.971$] 和总并发症发生率[27.47% (25/91) vs. 19.51% (8/41), $P = 0.328$] 差异均无显著性, 均未发生严重并发症(证据等级: 高)。

综上所述, 现有证据表明, 微波消融可能是 PHPT 的一种有效且安全的微创治疗方法。

3.3 激光消融

激光消融的原理是在超声引导下将光纤精准插入靶组织中, 激光能量转化为热能并累积至细胞致死温度, 引发细胞凝固性坏死。相比于微波消融和射频消融, 激光消融的优点在于能量聚焦性好, 作用范围精确可控, 单次消融区域较小, 通常为 $1 \sim 2 \text{ cm}^2$; 但由于光在组织中易发生散射与吸收, 其有效热穿透深度相对受限。

Bennedbaek 等^[32] 2001 年报道首例激光消融治疗 PHPT, 这也是所有热消融治疗 PHPT 的最初经验, 术后 2 个月血钙及 PTH 恢复正常, 症状缓解, 无严重并发症发生, 随访 4 年指标持续正常。Jiang 等^[33] 的回顾性研究对 21 例激光消融治疗 PHPT 进行疗效分析, 结果显示, 术后 1 d、6 个月及 12 个月, 血清 PTH 由基线(15.23 ± 3.00) pmol/L 降至(7.41 ± 2.79)、(6.95 ± 1.78)、(6.90 ± 1.46) pmol/L, 血钙

由(3.77 ± 0.77) mmol/L 降至(2.50 ± 0.72)、(2.41 ± 0.37)、(2.28 ± 0.26) mmol/L, 肿瘤体积从(0.93 ± 0.58) ml 缩小至 6 个月(0.53 ± 0.38) ml [体积缩减率(43.3 ± 20.8)%]、12 个月(0.48 ± 0.34) ml [体积缩减率(45.1 ± 34.1)%], 术后 12 个月生化治愈率 81% (17/21), 仅 1 例短暂声带麻痹并在 1 周内恢复, 未见永久性神经损伤或其他严重并发症(证据等级: 低)。Appelbaum 等^[34] 对 12 例激光消融治疗 PHPT 进行 2 年随访。术后即刻超声造影显示, 除 1 例外, 所有靶腺均实现去血管化[技术成功率 92% (11/12)], 并在后续随访中保持无血供。在 11 例技术成功者中, PTH 及血钙水平术后 1 个月显著下降, 6 个月均恢复至正常范围, 且在 24 个月均保持正常, 总体生化治愈率 92% (11/12), 甲状旁腺功能亢进相关症状(骨痛、肾绞痛、呕吐)均在术后 6 个月内消失, 仅 1 例短暂发音困难, 无严重并发症发生(证据等级: 低)。然而, Andrioli 等^[35] 对 6 例激光消融治疗 PHPT 进行回顾性研究后认为, 激光消融不应作为 PHPT 的根治手段, 因为尽管其安全性良好(仅 1 例短暂发声困难), 但激光消融仅短暂降低血 PTH 水平, 所有 6 例随访(54 ± 34) 个月(12 ~ 84 个月) PTH 仍高于正常上限, 其中 3 例血钙也高于正常上限, 这 3 例因持续性 PHPT 接受外科手术(证据等级: 低)。我们认为, 导致该结果的可能原因是其沿用了甲状腺结节的能量参数, 未针对甲状旁腺腺瘤制定专用消融算法, 加之高功能腺瘤血流丰富, 热沉降效应显著, 引起消融能量不足, 导致病灶残留。

综上, 激光消融治疗 PHPT 是安全的, 但仍需要更大样本的数据来验证这一方法的有效性^[36]。

3.4 高强度聚焦超声消融

高强度聚焦超声消融是唯一的一种非侵入性的热消融方式, 其原理是利用超声聚焦在靶区形成高能密度, 瞬时升温至 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 致蛋白质变性, 细胞凝固性坏死, 且能够分散周边组织能量以保持安全; 同时, 高声压诱发空化效应, 使细胞内微气泡剧烈振荡、崩解, 进一步破坏细胞膜、线粒体及内质网, 强化消融。

目前该方法主要用于治疗肝癌^[37]、前列腺肿瘤或子宫肌瘤^[38], 治疗 PHPT 的临床经验仅基于少数病例, 且疗效评价不确定。Kovatcheva 等^[39] 的前瞻

性、单臂干预性研究纳入 13 例 PHPT, 高强度聚焦超声消融治疗后 1 年随访, 生化治愈率仅为 23% (3/13), 部分缓解率为 69% (9/13), 持续性 PHPT 为 8% (1/13); 并发症包括 3 例 (23%) 声带活动受限, 3 例 (23%) 皮下水肿, 2 例 (15%) 声带活动受限合并皮下水肿, 均为暂时性, 未出现严重并发症 (证据等级: 低)。因此, 高强度聚焦超声作为无创性的消融技术, 对于有手术禁忌证的患者是一种很好的替代方案, 但未来仍需大规模的临床研究来验证其安全性和有效性。

4 适应证和禁忌证

由于热消融治疗 PHPT 开展较晚且实施路径不尽相同, 目前其适应证和禁忌证仍缺乏高等级循证依据且未形成广泛共识。参考中国《原发性甲状旁腺功能亢进热消融治疗专家共识 (2021 版)》^[15] 及现有关于热消融治疗 PHPT 的文献报道, 总结热消融治疗 PHPT 的适应证: ①有症状的 PHPT。②无症状的 PHPT 合并以下任一情况: 血 PTH 高于正常值; 高钙血症, 即血钙水平超过正常值上限 0.25 mmol/L; 骨骼受累 [任何部位骨密度值低于峰值骨量 2.5 个标准差和 (或) 出现脆性骨折] 和肾脏受累 (肌酐清除率低于 60 ml/min); 不能或不愿意接受常规随访, 或药物治疗效果欠佳。③核素和超声均可见 PHPT 病灶, 或核素未显示但超声及超声造影显示典型 PHPT 病灶影像学特征。④术前有明确病理诊断, 或无病理诊断但有典型良性 PHPT 病灶影像学特征。⑤超声评估有安全进针入路。

禁忌证: ①精神异常或意识障碍未得到有效纠正, 不能配合治疗; ②严重凝血功能障碍或口服抗凝药未达停药时间; ③严重心肺功能不全无法平卧配合手术; ④有明显恶性征象, 如病灶直径 > 3 cm、生长速度快、回声不均匀、形态不规则、被膜不光滑、边缘浸润、周围淋巴结异常肿大等。

5 技术优化

近年来, 热消融技术在 PHPT 治疗中的应用越来越广泛, 为了提高治疗的安全性和有效性, 一系列优化技术的措施不断出现。①电极尺寸和类型的选择对于治疗小的或邻近重要结构的病灶极其重要。Korkusuz 等^[20] 观察到, 与传统单极射频相比, 双极

射频所需能量更低, 热弥散范围更小, 能量更能集中于腺瘤, 显著减少喉返神经等邻近结构的热损伤风险, 兼具高效与安全优势。②在图像引导方面, 术前超声精确定位并设计穿刺路径和术中实时彩色多普勒监测消融区血流变化, 有助于避让重要血管, 降低损伤风险^[40,41]。术后复查病灶血流信号可以初步评估毁损是否彻底^[42]。常规超声所示高回声区仅能提供坏死范围的粗略估计, 与凝固区的组织学评估无关。但值得注意的是, 超声造影 (contrast-enhanced ultrasound, CEUS) 利用对比增强, 可实时显示微血管灌注, 即刻判断消融区是否残存活灶, 已用于肝、甲状旁腺消融完整性的评估^[33]。③在穿刺路径优化选择上, 经峡部入路和移动消融技术 (moving shot technique) 有助于提高安全性和有效性。Hussain 等^[18] 于 2021 年报道美国首例射频消融治疗 PHPT, 采用经峡部入路, 水分隔保护喉返神经, 术后 12 个月随访未出现并发症。Peng 等^[16] 对 51 例 PHPT 使用经峡部入路和移动消融技术进行射频消融治疗, 治愈率为 98% (50/51), 并发症大多数轻微且短暂, 无皮肤烧伤、血肿、感染或永久性喉返神经损伤等严重或永久性并发症。④水分离技术, 通过在病灶与周围重要结构之间注入冷流体将它们分离, 可以防止热传导损伤邻近的喉返神经、食管、气管等重要结构^[43]。Chehrehgosha 等^[25] 使用“Nik 喷射分离 (Nik jet dissection)”技术 (包括完全水分离和极动脉凝固) 创建液体压力, 可见神经结构 (如迷走神经、交感神经节、颈神经) 和可能的喉返神经路径 (气管食管沟), 从而将其分离出来, 避免针头在移动过程中对其造成损伤。因此, 水分离技术在减少消融的并发症、提高安全性方面有重要的作用。⑤在能量输送的优化上, 开发更精确的温度控制系统和个体化消融参数, 改进能量分布模式, 可在充分消融病灶的同时最大限度降低周围组织的损伤。⑥异位甲状旁腺腺瘤在术前很难定位, 术中监测 PTH, 有助于确保功能亢进的病变组织完全切除^[44]。⑦为进一步保护喉返神经, 局麻时在穿刺点局部注射 2% 利多卡因, 同时嘱患者持续发声, 既可缓解疼痛, 又能评估音色变化, 实时监测神经功能。在甲状旁腺下极后方或上极前方预留未消融的组织袖套, 有助于避免喉返神经热损伤^[18]。

综上, 热消融技术在 PHPT 治疗中不断发展、优

化,这些措施共同提升其疗效和安全性。

6 感悟与展望

与手术相比,热消融技术具有创伤小、恢复快、美观性好等优点,更易被患者接受。尽管目前关于

热消融治疗 PHPT 的高质量研究仍有限,且每种热消融技术的技术参数^[45](表 1)和并发症^[45,46](表 2)不尽相同,但相信随着技术的不断优化和大规模、多中心 RCT 研究的积累,热消融在未来有望成为治疗 PHPT 的可行选择之一。

表 1 热消融治疗原发性甲状旁腺功能亢进症的技术参数

技术参数	微波消融	射频消融	激光消融
工作原理	微波电磁场使极性分子摩擦生热	高频电流使离子振动生热	近红外激光定向加热组织
常用功率	20 ~ 30 W	20 ~ 50 W (起始 5 W)	3 ~ 5 W
针具规格	17G,长 10 cm,尖端 3 mm	17 ~ 18G,长 10 cm,尖端 5 ~ 7 mm	21G 引导针,光纤纤细
优势	升温快,范围大,不受炭化影响	能量可控性好,热场分布均匀	范围小,安全性高,炭化膜限热扩散
劣势	消融范围可控性较弱,热损伤风险相对较高	热沉效应明显,消融效率较低,术中出血时止血困难	单点消融效率低,术中组织汽化现象明显
适用场景	体积较大结节(≥2 cm)	较小结节(≤2 cm)	邻近重要结构的小结节
是否需回路	否	是(不适用于体内金属植入者)	否
麻醉方式	局部麻醉 + 隔离液	局部麻醉 + 隔离液	局部麻醉 + 隔离液

表 2 甲状旁腺热消融并发症

类型	发生率	发生机制	预防与处理措施
喉返神经损伤	较高(尤其位于“危险三角区”)	热传导或穿刺针直接损伤	注射生理盐水隔离;低功率消融;术中超声评估神经功能
低钙血症	常见	甲状旁腺功能减退	术前后监测血钙、iPTH;术后补钙和维生素 D
出血或血肿	较少	穿刺损伤血管或腺体	术前停抗凝药;术中有效压迫;微波止血
声音嘶哑	偶发	喉返神经或喉上神经损伤	术中注射生理盐水隔离液,低功率透热;术后喉镜评估
感染或脓肿	罕见	无菌操作不严格	严格无菌操作;术后抗感染
皮肤灼伤	偶发	表皮过热或针道热扩散	注射生理盐水隔离液;严格控制功率和时间
气管、食管损伤	罕见	热传导或穿刺误伤	注射生理盐水隔离液;术中实时超声监测
甲亢危象(高功能腺瘤)	罕见	术前甲状旁腺功能亢进未获控制	术前控制甲状旁腺功能;分期消融

参考文献

- Frey S, Perrot B, Caillard C, et al. Parathyroidectomy for primary hyperparathyroidism: effect on quality of life after 3 years. A prospective cohort study. *Int J Surg*, 2023, 109(3):364 - 373.
- Kazakou P, Vrachnis D, Paschou SA, et al. An exceptionally rare case of a giant parathyroid adenoma with carcinoma-like presentation. *Hormones (Athens)*, 2025, 24(2):575 - 580.
- Haq ZJ, Ahmed A, Abdelsalam A, et al. The development of patient-specific 3D anatomical models in minimally invasive parathyroidectomy. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 15:1514451.
- Carral F, Ayala MDC, Jiménez AI, et al. High capacity of ultrasound for locating parathyroid adenomas in endocrinology (the ETIEN 4 study). *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*, 2020, 67(4):272 - 278.
- Liu Y, Peng C, Chai H, et al. Predicting ultrasound-guided thermal ablation benefit in primary hyperparathyroidism. *Eur Radiol*, 2022, 32(12):8497 - 8506.
- Kandil E, Haidari M, Issa PP, et al. Radiofrequency ablation of an intrathyroidal parathyroid adenoma with intraoperative parathyroid hormone monitoring: a case report of a novel technique. *Gland Surg*, 2023, 12(5):704 - 709.
- Kowalski GJ, Bula G, Zadło D, et al. Primary hyperparathyroidism. *Endokrynol Pol*, 2020, 71(3):260 - 270.
- Bilezikian JP, Khan AA, Silverberg SJ, et al. Evaluation and management of primary hyperparathyroidism: summary statement and guidelines from the fifth international workshop. *J Bone Miner Res*, 2022, 37(11):2293 - 2314.
- Wolfe SA, Sharma S. Parathyroid Adenoma (Archived). 2023 Jun 12. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025. PMID:29939647.
- Kwayess R, Cooper DS, Fuleihan GE. Thyroiditis after parathyroidectomy. *JCEM Case Rep*, 2024, 2(2):luad156.
- Wolfe SA, Fingeret A. Parathyroid Minimally Invasive Surgery (Archived). 2023 May 29. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025. PMID:29939611.
- Perrier N, Lang BH, Farias L, et al. Surgical aspects of primary hyperparathyroidism. *J Bone Miner Res*, 2022, 37(11):2373 - 2390.
- Bandeira F, de Moura NJ, de Oliveira LB, et al. Medical management

- of primary hyperparathyroidism. *Arch Endocrinol Metab*, 2022, 66 (5):689 – 693.
- 14 Gollisch K, Siggelkow H. Asymptomatic primary hyperparathyroidism: operation or observation? *Internist (Berl)*, 2021, 62(5):496 – 504.
 - 15 白求恩精神研究会内分泌和糖尿病学会介入内分泌专业委员会(学组), 中国健康促进基金会骨代谢疾病防治专项基金管委会. 原发性甲状旁腺功能亢进热消融治疗专家共识(2021 版). *中日友好医院学报*, 2021, 35(5):259 – 264.
 - 16 Peng CZ, Chai HH, Zhang ZX, et al. Radiofrequency ablation for primary hyperparathyroidism and risk factors for postablative eucalcemic parathyroid hormone elevation. *Int J Hyperthermia*, 2022, 39(1):490 – 496.
 - 17 Ghanassia E, AFTHY (Association Francophone de Thyroïdologie), Euro-MITT (European Group for Minimally Invasive Thyroid Treatments). Parathyroid thermal ablation in 2023: the advent of a third wave for primary hyperparathyroidism. *Eur Radiol*, 2024, 34 (4):2209 – 2211.
 - 18 Hussain I, Ahmad S, Aljammal J. Radiofrequency ablation of parathyroid adenoma: a novel treatment option for primary hyperparathyroidism. *AACE Clin Case Rep*, 2021, 7(3):195 – 199.
 - 19 Khandelwal AH, Batra S, Jajodia S, et al. Radiofrequency ablation of parathyroid adenomas: safety and efficacy in a study of 10 patients. *Indian J Endocrinol Metab*, 2020, 24(6):543 – 550.
 - 20 Korkusuz H, Wolf T, Grunwald F. Feasibility of bipolar radiofrequency ablation in patients with parathyroid adenoma: a first evaluation. *Int J Hyperthermia*, 2018, 34(5):639 – 643.
 - 21 Ebrahimi H, Chegeni H, Mosadegh KA, et al. Radiofrequency ablation of parathyroid adenomas causing primary hyperparathyroidism: a report of 27 patients. *J Clin Ultrasound*, 2022, 50(4):540 – 546.
 - 22 Li X, Tufano RP, Russell JO, et al. Ultrasound-guided radiofrequency ablation for the treatment of primary hyperparathyroidism: an efficacy and safety study. *Endocr Pract*, 2021, 27(12):1205 – 1211.
 - 23 Leoncini A, Deandrea M, Retta F, et al. Treating intra-thyroid parathyroid adenoma by radiofrequency is a valuable alternative to hemithyroidectomy. *Int J Hyperthermia*, 2023, 40(1):2282935.
 - 24 León Utrero S, Garrido-Pareja F, López-Ibarra P, et al. Effectiveness and safety of the radiofrequency ablation of single hyperfunctioning parathyroid lesions suggestive of adenomas in primary hyperparathyroidism. *J Endocrinol Invest*, 2023, 46(11):2269 – 2273.
 - 25 Chehrehgosha H, Chegini H, Heydari I, et al. Radiofrequency ablation of parathyroid adenoma: results of a retrospective analysis of 60 patients. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2024, 47(6):762 – 770.
 - 26 Orloff LA, Noel JE, Stack BC Jr, 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(3):633 – 660.
 - 27 Chu KF, Dupuy DE. Thermal ablation of tumours: biological mechanisms and advances in therapy. *Nat Rev Cancer*, 2014, 14 (3):199 – 208.
 - 28 魏莹, 彭丽丽, 赵朕龙, 等. 超声引导下微波消融治疗原发性甲状旁腺功能亢进症的效果. *中国介入影像与治疗学*, 2021, 18 (10):587 – 591.
 - 29 Ye J, Huang W, Huang G, et al. Efficacy and safety of US-guided thermal ablation for primary hyperparathyroidism: a systematic review and meta-analysis. *Int J Hyperthermia*, 2020, 37(1):245 – 253.
 - 30 Liu F, Yu X, Liu Z, et al. Comparison of ultrasound-guided percutaneous microwave ablation and parathyroidectomy for primary hyperparathyroidism. *Int J Hyperthermia*, 2019, 36(1):835 – 840.
 - 31 Liu F, Liu Y, Peng C, et al. Ultrasound-guided microwave and radiofrequency ablation for primary hyperparathyroidism: a prospective, multicenter study. *Eur Radiol*, 2022, 32(11):7743 – 7754.
 - 32 Bennedbaek FN, Karstrup S, Hegedus L. Ultrasound guided laser ablation of a parathyroid adenoma. *Br J Radiol*, 2001, 74(886):905 – 907.
 - 33 Jiang T, Chen F, Zhou X, et al. Percutaneous ultrasound-guided laser ablation with contrast-enhanced ultrasonography for hyperfunctioning parathyroid adenoma: a preliminary case series. *Int J Endocrinol*, 2015, 2015:673604.
 - 34 Appelbaum L, Goldberg SN, Ierace T, et al. US-guided laser treatment of parathyroid adenomas. *Int J Hyperthermia*, 2020, 37 (1):366 – 372.
 - 35 Andrioli M, Riganti F, Pacella CM, et al. Long-term effectiveness of ultrasound-guided laser ablation of hyperfunctioning parathyroid adenomas: present and future perspectives. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199(5):1164 – 1168.
 - 36 Adda G, Scillitani A, Epaminonda P, et al. Ultrasound-guided laser thermal ablation for parathyroid adenomas: analysis of three cases with a three-year follow-up. *Horm Res*, 2006, 65(5):231 – 234.
 - 37 Lurje I, Czigan Z, Bednarsch J, et al. Treatment strategies for hepatocellular carcinoma: a multidisciplinary approach. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(6):1465.
 - 38 Park SA, Lee J, Kim HY. Virtual reality education program for women with uterine tumors treated by high-intensity focused ultrasound. *Heliyon*, 2024, 10(1):e23759.
 - 39 Kovatcheva R, Vlahov J, Stoinov J, et al. US-guided high-intensity

- focused ultrasound as a promising non-invasive method for treatment of primary hyperparathyroidism. *Eur Radiol*, 2014, 24 (9) :2052 – 2058.
- 40 Cao XL, Cheng ZG, Yu XL, et al. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation of parathyroid adenoma. *J Vasc Interv Radiol*, 2016, 27(12) :1929 – 1931.
- 41 Xu SY, Wang Y, Xie Q, et al. Percutaneous sonography-guided radiofrequency ablation in the management of parathyroid adenoma. *Singapore Med J*, 2013, 54(7) :e137 – 140.
- 42 Kim BS, Eom TI, Kang KH, et al. Radiofrequency ablation of parathyroid adenoma in primary hyperparathyroidism. *J Med Ultrason (2001)*, 2014, 41(2) :239 – 243.
- 43 Kim JH, Baek JH, Lim HK, et al. 2017 thyroid radiofrequency ablation guideline: Korean Society of Thyroid Radiology. *Korean J Radiol*, 2018, 19(4) :632 – 655.
- 44 Li Y, Xue Y, Yao Y, et al. Microwave ablation of ectopic parathyroid adenoma in the carotid sheath with intraoperative parathyroid hormone monitoring: a case description. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(4) :3216 – 3220.
- 45 于明安,王淑荣. 甲状腺与甲状旁腺疾病热消融治疗实战教程. 北京:人民卫生出版社,2023. 408.
- 46 车颖. 甲状(旁)腺及颈部淋巴结热消融治疗. 北京:人民卫生出版社,2022. 216.

(收稿日期:2025-09-21)

(修回日期:2026-01-21)

(责任编辑:黄萍)