

# 超声引导下微波消融术治疗甲状旁腺腺瘤相关原发性甲状旁腺功能亢进症的有效性及其安全性分析

吕若琳<sup>1,2</sup>, 董冰子<sup>2</sup>, 徐丽丽<sup>2</sup>, 赵 诚<sup>3</sup>, 杨乃龙<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学医学部, 山东 青岛

<sup>2</sup>青岛大学附属医院内分泌与代谢性疾病科, 山东 青岛

<sup>3</sup>青岛大学附属医院超声医学科, 山东 青岛

收稿日期: 2023年3月26日; 录用日期: 2023年4月21日; 发布日期: 2023年4月29日

## 摘 要

**目的:** 探讨超声引导下微波消融术(microwave ablation, MWA)治疗甲状旁腺腺瘤(parathyroid adenoma)所致原发性甲状旁腺功能亢进症(primary hyperparathyroidism, PHPT)的安全性、有效性及优势性。**方法:** 选取2022年就诊于青岛大学附属医院并确诊为原发性甲状旁腺功能亢进症, 超声发现具有甲状旁腺腺瘤并进行MWA的患者26例。观察MWA后患者临床症状的改善程度, 血钙、血磷、血清全段甲状旁腺激素(intact parathyroid hormone, iPTH)的变化水平, 同时在随访期间关注术后并发症的发生情况。**结果:** 中位随访时间为6.38月, MWA后, 所有患者临床症状均好转, 至末次随访, 血钙、iPTH明显下降, 血磷持续处于正常水平, 1例患者出现术后疼痛, 镇痛治疗后次日缓解, 无1例患者出现术后声音嘶哑, 低钙血症等不良反应。**结论:** 超声引导下微波消融术治疗甲状旁腺腺瘤所致原发性甲状旁腺功能亢进症具有良好的安全性及有效性。

## 关键词

微波消融术, 甲状旁腺腺瘤, 原发性甲状旁腺功能亢进症, 安全性, 有效性, 血清全段甲状旁腺激素

\*通讯作者 Email: nailongy@163.com

# Effectiveness and Safety of Ultrasound-Guided Microwave Ablation for the Treatment of Primary Hyperparathyroidism with Parathyroid Adenoma

Ruolin Lyu<sup>1,2</sup>, Bingzi Dong<sup>2</sup>, Lili Xu<sup>2</sup>, Cheng Zhao<sup>3</sup>, Nailong Yang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Medical College of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of Endocrinology and Metabolism, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Department of Ultrasonic Medicine, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Mar. 26<sup>th</sup>, 2023; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2023; published: Apr. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

**Objective:** To investigate the safety, efficacy and superiority of ultrasound-guided microwave ablation (MWA) in treating primary hyperparathyroidism (PHPT) caused by parathyroid adenoma. **Methods:** A total of 26 patients diagnosed with PHPT with parathyroid adenoma by ultrasound were selected from the Affiliated Hospital of Qingdao University in 2022. The improvement of clinical symptoms, intact parathyroid hormone (iPTH) and serum calcium, phosphorus were observed before and after MWA. Besides, the occurrence of postoperative complications was noted during follow-up. **Results:** The median follow-up time was 6.38 months. The clinical symptoms of all patients were improved after MWA. Until the last follow-up, the blood calcium and iPTH decreased significantly, and the blood phosphorus remained at the normal level. Postoperative pain was observed in one patient, which was relieved the next day after analgesic treatment, while no hoarseness, hypocalcemia and other adverse reactions were observed in patients. **Conclusion:** Ultrasound-guided microwave ablation is safe and effective in the treatment of primary hyperparathyroidism caused by parathyroid adenoma.

## Keywords

Microwave Ablation, Parathyroid Adenoma, Primary Hyperparathyroidism, Safety, Effectiveness, Intact Parathyroid Hormone

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

甲状旁腺是人体重要的腺体之一，它分泌的甲状旁腺激素(parathyroid hormone, PTH)作用于骨、小肠、

肾脏等器官,对维持机体钙磷平衡十分重要[1]。原发性甲状旁腺功能亢进症(primary hyperparathyroidism, PHPT)是一种常见的内分泌疾病,发病率目前在内分泌疾病中排名第三,特点是甲状旁腺自主分泌 PTH 过多,导致靶器官功能亢进,尤其是骨溶解增加,引起血钙升高、血磷降低、尿钙增加、尿磷增加、血清全段甲状旁腺激素(intact parathyroid hormone, iPTH)升高。PHPT 最常见原因是甲状旁腺腺瘤,其次还包括甲状旁腺增生、恶性肿瘤等[2]。治疗方法主要包括药物治疗、手术治疗、射频消融术(radiofrequency ablation, RFA)、微波消融术(microwave ablation, MWA)、激光消融术等热消融方法。其中手术治疗是目前经典的治疗办法,研究报道, RFA 或 MWA 与传统手术相比,能有效减小腺瘤体积,灭活结节,术后 1~6 月即可随访到腺瘤体积的缩小,半年内治愈率为 85.1%。在降低 iPTH 与血钙水平以及术后并发症发生率方面,与传统手术相比没有差异,且热消融方法属于微创手术,对患者一般状况要求较低,手术时间短,恢复快,具有独特的优势[3] [4]。本文将探讨 26 例 PHPT 患者 MWA 治疗的安全性及有效性。

## 2. 超声引导下微波消融术原理

MWA 原是一种超微创肿瘤局部根治性治疗方法。其基本原理是使用电磁波产生热量,达到一定温度范围并维持一段时间,通过热损伤机制杀死肿瘤细胞,同时使周围血管凝固形成一个反应带,使之不能向肿瘤供血,防止肿瘤转移,达到治疗效果[5]。MWA 近些年开始流行于小结节的消融治疗,主要用于治疗一些相对较小的良性结节或自主高功能腺瘤,以及部分恶性肿瘤,常用于肝、肺、肾、骨骼病变的治疗,在腺体方面主要用于甲状旁腺腺瘤、不完全切除的甲状腺癌或甲状腺术后复发、不愿手术或不能耐受外科手术的患者等。相对于传统手术, MWA 属于超微创手术,治疗时间短、操作简便、具有反复性,患者痛苦小、术后恢复快、外形美观且效果显著[4] [6]。

## 3. 对象和方法

### 3.1. 对象

本研究选取 2022 年 26 例就诊于青岛大学附属医院,被诊断为原发性甲状旁腺功能亢进症并进行了超声引导下 MWA 的甲状旁腺腺瘤患者,收集患者的基线资料,对比 MWA 前后患者临床症状、血钙、血磷、iPTH 以及腺瘤体积的变化,并描述并发症的发生情况。对患者进行随访,观察半年内上述指标的改变。

### 3.2. 纳入标准

纳入标准: 1) 年龄在 18~70 岁自愿接受 MWA 治疗; 2) 临床症状明显的 PHPT; 3) 首次治疗; 4) 拒绝手术或不适合手术的 PHPT 患者; 5) 超声探及甲状旁腺腺瘤且核素扫描具有显像剂摄取; 6) 临床症状不明显但一项或多项实验室指标异常(血钙超过上限 0.25 mmol/L, 骨骼、肾脏受累,包括但不限于 eGFR < 60 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>), 骨密度低于 2.5 个标准差), 超声探及甲状旁腺腺瘤且具有显像剂摄取。

### 3.3. 排除标准

排除标准: 1) 继发性、三发性或假性甲状旁腺功能亢进症; 2) 凝血功能障碍或出血风险高; 3) 合并肿瘤、精神疾病、心理疾病或基础疾病多,一般状况差; 4) 临床症状或任何影像学检查提示有恶性征象; 5) 患者拒绝 MWA 或此前已进行其他治疗。

### 3.4. 微波消融术

MWA 过程: 使用微波消融治疗系统,术前常规进行甲状旁腺超声检查与超声造影,明确甲状旁腺

腺瘤位置、形态、大小、数目、造影剂填充情况,做好手术标记。术前初步定位后,常规给予患者心电监护,连接血氧饱和度监测装置。患者仰卧位,头部后仰,充分暴露颈部,以定位处为中心,半径 15 cm,碘伏消毒 3 遍,铺巾,2%利多卡因局部麻醉,在超声引导下将 0.9%氯化钠注射液注射至甲状旁腺周围,建立隔离带,使用液体隔离法保护甲状旁腺周围颈动脉、喉返神经、食管、气管等重要组织及器官,防止消融过程中温度过高导致损伤。在超声引导下将微波天线发热点置于甲状旁腺结节内,使用微波系统进行多点消融或移动消融,消融结束 2 min 后应用超声造影评估消融范围,可见原病灶处无造影剂填充,超声显示为高回声区,CDFI 显示无血流信号,表示消融成功,消融效果不满意可即刻再次消融。术后常规消毒,加压包扎 20~30 min 预防出血,必要时给予冰袋冷敷。手术全程密切关注患者病情变化,若患者术中出现明显不适,例如心率血压大幅度改变、抽搐、颈部疼痛难忍等立即终止手术,进行急救。术中记录每枚甲状旁腺结节消融时间及消融功率[7]。

术前后超声造影:1) 使用 5 ml 无菌生理盐水稀释 Sonovue 粉剂,经震荡后立即使用。经桡静脉弹丸注入 1.5 ml。2) 观察甲状旁腺结节术前术后造影剂充填情况,术后定位处造影剂无充填则消融成功。

### 3.5. 数据收集与随访

收集患者 MWA 术前、术后 2 h、4 h、48 h、15 d、2 m、6 m 血钙、血磷、iPTH 水平,问诊临床症状的改变,记录有无并发症的发生及转归情况,超声随访腺瘤体积的变化。术后常见并发症包括颈部疼痛、恶心、呕吐、饮水打呛、声音嘶哑、吞咽困难、低钙血症导致抽搐等。

### 3.6. 统计学方法

应用 SPSS 26.0 进行数据分析,使用配对样本 t 检验与配对样本 Wilcoxon 符号秩和检验对不同随访时间的数据进行比较。正态分布的数据以平均值  $\pm$  标准差表示,非正态分布数值以四分位数间距表示,所有统计检验为双侧检验,以  $P < 0.05$  计为差异有统计学意义。

## 4. 结果

该研究共纳入 26 例患者,基线材料如表 1,包括 11 名男性,15 名女性,平均年龄为 50.29 岁。其中 3 名女性同时具有 2 枚甲状旁腺腺瘤,其余患者均为单发。29 枚腺瘤术前平均大小为 0.419 ml,患者中位随访时间为 6.38 m,术前 iPTH、血钙、血磷水平分别为 131.00 (94.90, 203.00) pg/ml、 $2.57 \pm 0.17$  mmol/L、 $0.91 \pm 0.09$  mmol/L, MWA 消融时间为  $104.17 \pm 102.04$  s。

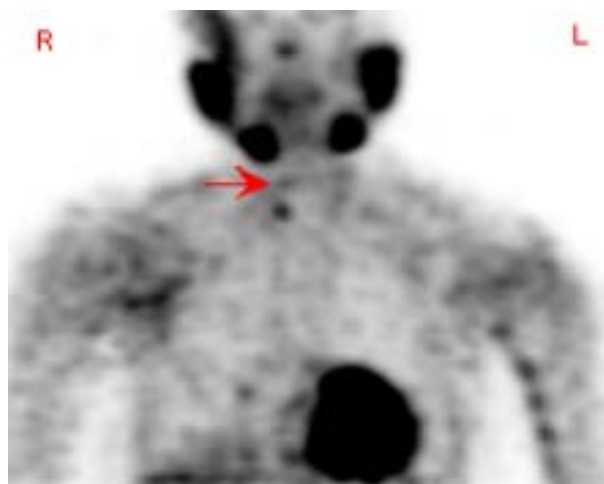
**Table 1.** Baseline materials for 26 patients in the study

**表 1.** 该研究 26 例患者基线材料

年龄(岁)	术前腺瘤大小 (ml)	消融时间 (s)	随访时间 (m)	PTH (pg/ml)	血钙 (mmol/L)	血磷 (mmol/L)
$50.29 \pm 11.00$	$0.419 \pm 0.248$	$104.17 \pm 102.04$	$6.38 \pm 2.56$	131.00 (94.90, 203.00)	$2.57 \pm 0.17$	$0.91 \pm 0.09$

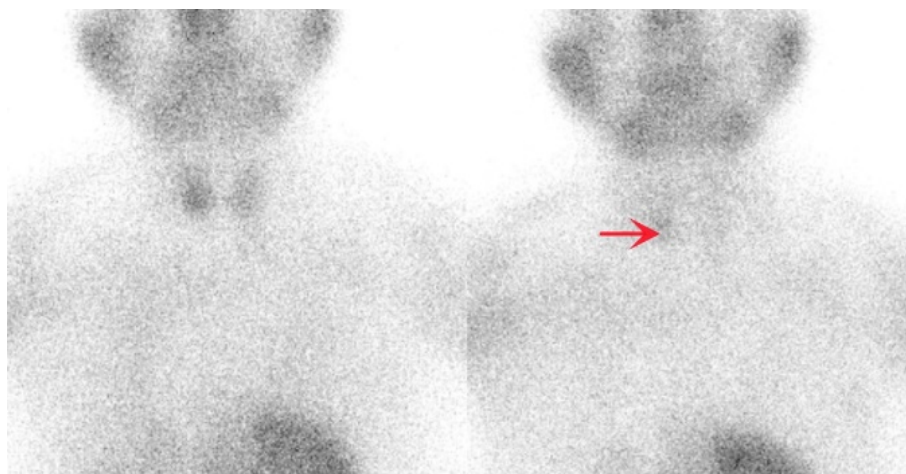
注:腺瘤大小用体积 V (ml)表示,  $V = \pi abc/6$ , a 为超声测量的最大直径(cm), b、c 为另外两条相互垂直的直径(cm); PTH 代表血清甲状旁腺激素水平,使用四分位数表示,其余指标使用平均数  $\pm$  标准差表示;参考范围:PTH (15.00~65.00) pg/ml,血钙(2.11~2.52) mmol/L,血磷(0.85~1.15) mmol/L。

26 例患者共消融 29 枚结节，其中 1 例患者术前融合显像、核素扫描及术中消融图像如图 1~5。所有患者 MWA 过程均顺利，术后 24 h 有 1 例患者出现颈部疼痛，不伴有血肿、声音嘶哑、饮水打呛等，进行镇痛治疗后症状在次日消失。其余患者在术后 24 h 内均未出现恶心、呕吐、声音嘶哑、饮水打呛、呼吸不畅等不良反应，无 1 例患者出现低钙血症、抽搐等并发症。在 15 d 随访时，有一例患者出现血钙稍高于正常范围上限，嘱患者控制饮食，多饮水，缩小随访问隔，以利于及时做出治疗，直至末次随访，血钙水平均处于正常范围。在 6 m 随访时，有 1 例术前 2 枚腺瘤的女性患者在此前 3 m 随访期间，iPTH 呈现缓慢波动上升趋势，但目前仍处于正常水平，至末次随访时，iPTH 仍正常，并且整个随访期间血钙均处于正常水平，超声复查腺瘤体积无增大，且该患者无任何不适症状，暂无证据支持复发。



**Figure 1.** Parathyroid gland MIBI ( $^{99m}\text{Tc}$  sestamibi) imaging before MWA shows increased MIBI accumulation in the lower right pole

**图 1.** 术前甲状旁腺融合显像显示甲状腺右叶下极区具有显像剂滞留



**Figure 2.** 15 min after the contrast agent was injected, the thyroid gland area developed and MIBI accumulated in the lower right lobe, 2 hours later, the thyroid gland area subsided while MIBI remained in the lower right lobe

**图 2.** 注射造影剂 15 min 后甲状腺区显影，右叶下部见显像剂浓聚，2 h 后甲状腺区显影消退，右叶下部显像剂滞留

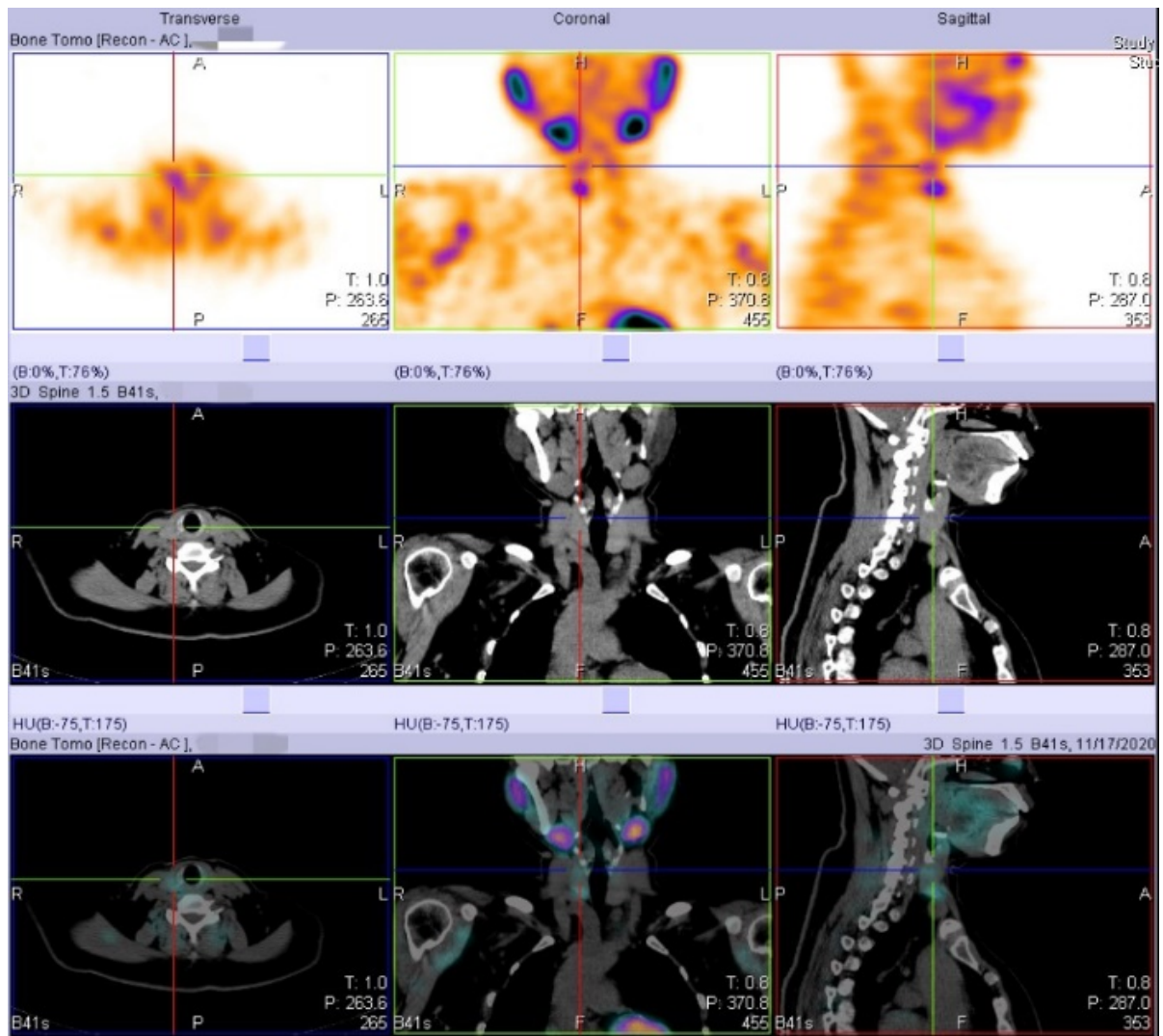


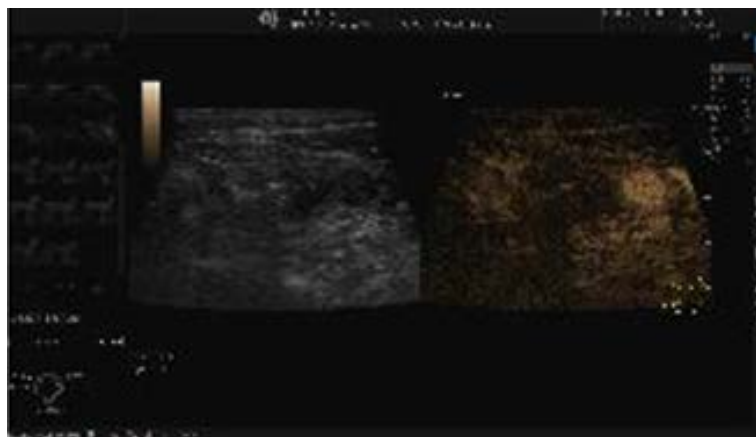
Figure 3. Bone tomography imaging before MWA

图 3. MWA 术前骨断层显像



Figure 4. Intraoperative image of the right lower pole parathyroid adenoma during the MWA

图 4. 右下极甲状腺旁腺腺瘤 MWA 消融术中



**Figure 5.** Mild hyperechoic nodule after MWA

**图 5.** MWA 术后可见稍高回声结节

随访期间相关指标变化与比较如表 2、表 3、图 6 所示，在 MWA 术后 2 h、4 h、48 h、15 d、2 m、6 m 随访期间 iPTH、血钙均较术前下降，均具有统计学意义。术后 2 h 测得 iPTH 较术前降低最明显[12.70 (9.63, 14.00) vs. 131.00 (94.90, 203.00),  $P = 0.024$ ]。在随访期间可以观察到，2 m、6 m 与 15 d 相比，iPTH 有上升趋势，但差异无统计学意义( $P = 0.273$ ,  $P = 0.593$ )，直至随访结束，iPTH 均处于正常范围。所有患者术后 2 h、24 h、48 h、15 d、2 m、6 m 血钙水平均较术前下降，差异具有统计学意义，末次随访与术前比较为[ $2.40 \pm 0.08$  vs.  $2.57 \pm 0.17$ ;  $P = 0.028$ ]。血磷在术后均维持在正常水平，末次随访时较术前升高，差异具有统计学意义[ $1.09 \pm 0.13$  vs.  $0.91 \pm 0.09$ ,  $P = 0.018$ ]。26 例患者在术后 2 m 和 6 m 复查超声，测量腺瘤体积，测得腺瘤体积较术前均明显减小，且差异具有统计学意义[ $0.073 \pm 0.197$  vs.  $0.419 \pm 0.248$ ,  $P = 0.024$ ;  $0.026 \pm 0.277$  vs.  $0.419 \pm 0.248$ ,  $P = 0.013$ ]。术后 2 m、6 m 随访时，腺瘤体积较术前减小分别为 82.58%，93.79%，临床效果显著。26 例患者均表示 MWA 创伤小，无手术疤痕，治疗时间短，恢复快，且能有效缓解症状，相较传统手术，会优先选择。

**Table 2.** The changes of the observational indexes for the 26 patients before and after MWA

**表 2.** 26 例患者 MWA 术前、术后观察指标的变化情况

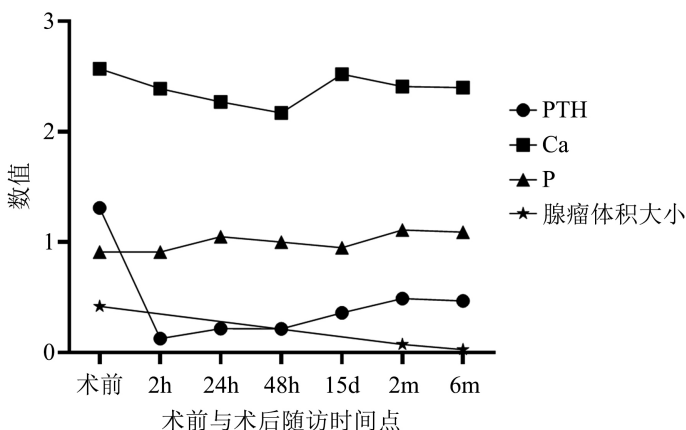
	PTH (pg/ml)	血钙(mmol/L)	血磷(mmol/L)	腺瘤大小(ml)	不良反应
术前	131.00 (94.90, 203.00)	$2.57 \pm 0.17$	$0.91 \pm 0.09$	$0.419 \pm 0.248$	
术后 2 h	12.70 (9.63, 14.00)	$2.39 \pm 0.35$	$0.91 \pm 0.11$	-	
术后 24 h	21.70 (21.60, 43.30)	$2.27 \pm 0.18$	$1.05 \pm 0.17$	-	1 例出现颈部疼痛，次日缓解
术后 48 h	21.40 (12.08, 39.43)	$2.17 \pm 0.06$	$1.00 \pm 0.12$	-	
术后 15 d	35.90 (21.90, 60.35)	$2.52 \pm 0.18$	$0.95 \pm 0.19$	-	1 例血钙稍高于正常水平，此后随访均处于正常范围
术后 2 m	48.95 (39.83, 66.40)	$2.41 \pm 0.94$	$1.11 \pm 0.20$	$0.073 \pm 0.197$	
术后 6 m	46.70 (46.00, 62.30)	$2.40 \pm 0.08$	$1.09 \pm 0.13$	$0.026 \pm 0.277$	1 例术前 2 枚甲状旁腺腺瘤的患者 iPTH 在近 3 m 成缓慢上升趋势，目前正常水平

注：腺瘤大小计算方法同表 1。

**Table 3.** P values of the PTH, calcium, and phosphorus after MWA compared with baseline  
**表 3.** MWA 术后患者 PTH、血钙、血磷与基线相比较所得 P 值

	2 h	24 h	48 h	15 d	2 m	6 m
PTH	0.024	0.018	0.048	0.042	0.038	0.032
血钙	0.016	0.038	0.038	0.048	0.024	0.028
血磷	0.144	0.116	0.180	0.141	0.019	0.018
腺瘤大小	-	-	-	-	0.024	0.013

注：P < 0.05 计为差异具有统计学意义。



注：PTH:  $\times 10^{-2}$  pg/ml; Ca、P: mmol/L; 腺瘤体积大小: ml。

**Figure 6.** Comparisons of the mainly observational outcomes before and after MWA

**图 6.** MWA 术前与术后观测指标的比较

## 5. 讨论

该研究选取了我院 2022 年就诊的 26 例诊断为原发性甲状旁腺功能亢进症且进行超声引导下 MWA 的患者。包括 11 名男性，15 名女性，平均年龄为 50.29 岁。PHPT 流行病学显示，该病女性发生率是男性的三到四倍，且常见年龄为 50 岁以后，尸体病理显示，有一部分人终生携带甲状旁腺腺瘤[8]。MWA 术前、术后监测患者血钙和 iPTH 水平，均有明显下降，至末次随访血钙、血磷、iPTH 均在正常范围内，腺瘤体积明显缩小，手术达到预期效果。随访期间，无严重并发症发生，未随访到低钙血症导致手足搐搦等不良反应。术后 15 d 有 1 例患者出现血钙略高于正常范围上限，为 2.54 mmol/L，但纠正饮食、多饮水后再次随访，至末次随访未追踪到血钙再次高于上限，且随访期间该患者 iPTH 均处于正常水平，考虑血钙升高不排除饮食影响。1 例 2 枚腺瘤的女性患者在 3 m 至 6 m 随访期间，iPTH 缓慢波动上升，至末次随访时 iPTH 为 67.42 pg/ml，血钙为 2.20 mmol/L，血磷为 0.90 mmol/L，均未超过正常范围上限，超声未提示腺瘤体积增大，患者没有手足抽搐、乏力、恶心、呕吐、颈部不适、泌尿系结石等临床表现。在多个热消融治疗 PHPT 的研究中证实，消融前高 iPTH 和多发性结节是与疾病复发和术后持续高 iPTH 相关的独立危险因素[3] [4]。该患者术前 iPTH 为 418.21 pg/ml，在左下和右下分别可见 1 枚甲状旁腺腺瘤，大小分别为 1.2 cm\*1.0 cm\*0.7 cm、1.3 cm\*1.1 cm\*0.6 cm，在 26 例患者中处于较高 iPTH 水平，但数据较少，不支持进一步分析，目前没有足够证据证实复发。综上，该研究表明 MWA 治疗甲状旁腺腺



瘤导致的原发性甲状旁腺功能亢进症有效性及优势性明显,且具有良好的安全性,可以作为可靠、有效的临床手段之一。但是,本研究选取患者例数不够多,对比的指标项数有限,骨骼、泌尿系统的远期随访尚未结束,仍具有局限性。

典型的 PHPT 具有高血钙、高尿钙、高尿磷、高 iPTH、低血磷“四高一低”实验室指标改变。但大多数患者均无明显临床症状,仅表现为一项或多项实验室结果异常,故又称无症状性 PHPT,针对这类人群,临床上需要评估肾脏、骨骼受累情况,密切随访观察[9]。针对有症状、需要治疗的甲状旁腺腺瘤患者,目前临床上治疗方法主要包括药物治疗、手术治疗、RFA、MWA、激光消融术等热消融方法[10]。其中药物治疗效果个体差异性大,病情易反复,而手术治疗存在术野内原发灶难以寻找或切除不干净、易损伤周围组织、外形不美观、术后手足抽搐、严重低钙血症并发症发生率较高等缺点[11][12]。热消融术近几年成为治疗小结节的另一手段,与 RFA 主要依赖热传导不同,MWA 不依赖于电流与组织进行热传导,而是施加高频率的电磁场,通过电介质滞后现象直接将组织温度上升至 150℃,可以更迅速的进行更大体积的消融,不会考虑因水分子蒸发导致组织干燥从而影响治疗的进行,更适合更高阻抗的组织,比如肺、骨等[13][14]。MWA 创伤小、术后并发症少且效果显著,然而,MWA 也有弊端,比如,术后可出现短暂的疼痛、局部血肿、暂时性喉返神经麻痹等,通过对多项随机对照试验结果进行分析得到,MWA 的不良反应发生率为 6.9%~11.6%,与手术治疗相比,两组术后并发症的发生率没有统计学差异[4][7][15][16]。一般症状较轻,恢复快。目前头颈部病变的激光消融技术也在发展中[17],已陆续有相关医疗机构开展激光消融治疗甲状旁腺腺瘤的临床研究,结论是对肿大的、有症状的甲状旁腺腺瘤进行激光消融是安全的,且患者耐受性良好,并且可以长期、持续地降低血清 iPTH 和血钙水平,但是例数相对少,仍需更强的数据证实[18]。

综上,超声引导下 MWA 治疗原发性甲状旁腺功能亢进症具有良好的安全性及有效性,患者在术后临床症状明显减轻,较外科手术相比,超声引导下 MWA 治疗甲状旁腺腺瘤所致 PHPT 时间短、创伤小、恢复快、并发症少,术后可以明显缩减结节大小,缓解症状。针对于用药效果不明显,易反复,患者一般状况差,传统手术受限或患者个人拒绝手术的情况下,MWA 有独特的优势[19]。

## 声明

该研究已获得病人的知情同意。

## 利益冲突

所有作者均声明不存在利益冲突。

## 参考文献

- [1] Munson, P.L., Hirsch, P.F. and Tashjian Jr., A.H. (1963) Parathyroid Gland. *Annual Review of Physiology*, **25**, 325-360. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.25.030163.001545>
- [2] Al Zahrani, A. and Levine, M.A. (1997) Primary Hyperparathyroidism. *Lancet*, **349**, 1233-1238. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)06176-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)06176-4)
- [3] Wei, Y., Zhao, Z.-L., Cao, X.-J., Peng, L.-L., Li, Y., Wu, J., et al. (2022) Microwave Ablation versus Parathyroidectomy for the Treatment of Primary Hyperparathyroidism: A Cohort Study. *European Radiology*, **32**, 5821-5830. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08759-7>
- [4] Liu, F., Liu, Y., Peng, C., Yu, M., Wu, S., Qian, L., et al. (2022) Ultrasound-Guided Microwave and Radiofrequency Ablation for Primary Hyperparathyroidism: A Prospective, Multicenter Study. *European Radiology*, **32**, 7743-7754. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08851-y>
- [5] Lubner, M.G., Brace, C.L., Hinshaw, J.L. and Lee, F.T. (2010) Microwave Tumor Ablation: Mechanism of Action, Clinical Results, and Devices. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **21**, S192-S203. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2010.04.007>

- [6] Orloff, L.A., Noel, J.E., Stack, B.C., Russell, M.D., Angelos, P., Baek, J.H., *et al.* (2022) 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*, **44**, 633-660. <https://doi.org/10.1002/hed.26960>
- [7] Wei, Y., Peng, L., Li, Y., Zhao, Z.-L. and Yu, M.-A. (2020) Clinical Study on Safety and Efficacy of Microwave Ablation for Primary Hyperparathyroidism. *Korean Journal of Radiology*, **21**, 572-581. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0593>
- [8] Khan, A.A., Hanley, D.A., Rizzoli, R., Bollerslev, J., Young, J.E.M., Rejnmark, L., *et al.* (2017) Primary Hyperparathyroidism: Review and Recommendations on Evaluation, Diagnosis, and Management. A Canadian and International Consensus. *Osteoporosis International*, **28**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3716-2>
- [9] Bilezikian, J.P., Khan, A.A., Silverberg, S.J., Fuleihan, G.E.-H., Marcocci, C., Minisola, S., *et al.* (2022) Evaluation and Management of Primary Hyperparathyroidism: Summary Statement and Guidelines from the Fifth International Workshop. *Journal of Bone and Mineral Research*, **37**, 2293-2314. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4677>
- [10] Zhu, C.Y., Sturgeon, C. and Yeh, M.W. (2020) Diagnosis and Management of Primary Hyperparathyroidism. *JAMA*, **323**, 1186-1187. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.0538>
- [11] Fewins, J., Simpson, C.B. and Miller, F.R. (2003) Complications of Thyroid and Parathyroid Surgery. *Otolaryngologic Clinics of North America*, **36**, 189-206. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(02\)00129-9](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(02)00129-9)
- [12] Nettekville, J.L., Aly, A. and Ossoff, R.H. (1990) Evaluation and Treatment of Complications of Thyroid and Parathyroid Surgery. *Otolaryngologic Clinics of North America*, **23**, 529-552. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(20\)31274-3](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(20)31274-3)
- [13] Chu, K.F. and Dupuy, D.E. (2014) Thermal Ablation of Tumours: Biological Mechanisms and Advances in Therapy. *Nature Reviews Cancer*, **14**, 199-208. <https://doi.org/10.1038/nrc3672>
- [14] Kim, C. (2018) Understanding the Nuances of Microwave Ablation for More Accurate Post-Treatment Assessment. *Future Oncology*, **14**, 1755-1764. <https://doi.org/10.2217/fon-2017-0736>
- [15] Wei, Y., Peng, C.-Z., Wang, S.-R., He, J.-F., Peng, L.-L., Zhao, Z.-L., *et al.* (2021) Microwave Ablation versus Radiofrequency Ablation for Primary Hyperparathyroidism: A Multicenter Retrospective Study. *International Journal of Hyperthermia*, **38**, 1023-1030. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1945689>
- [16] Zhou, X., Shen, Y., Zhu, Y., Lv, Q., Pu, W., Gao, L., *et al.* (2021) Ultrasound-Guided Microwave Ablation for Secondary Hyperparathyroidism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Hyperthermia*, **38**, 1285-1294. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1965664>
- [17] Ginat, D.T., Sammet, S. and Christoforidis, G. (2018) MR Thermography-Guided Head and Neck Lesion Laser Ablation. *AJNR. American Journal of Neuroradiology*, **39**, 1593-1596. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5726>
- [18] Appelbaum, L., Goldberg, S.N., Ierace, T., Mauri, G. and Solbiati, L. (2020) US-Guided Laser Treatment of Parathyroid Adenomas. *International Journal of Hyperthermia*, **37**, 366-372. <https://doi.org/10.1080/02656736.2020.1750712>
- [19] Chen, Z., Cheng, L., Zhang, W. and He, W. (2022) Ultrasound-Guided Thermal Ablation for Hyperparathyroidism: Current Status and Prospects. *International Journal of Hyperthermia*, **39**, 466-474. <https://doi.org/10.1080/02656736.2022.2028907>