

# 基于多模态影像与生化指标的甲状旁腺病变术前诊断价值研究：单中心回顾性分析

张 帅<sup>1</sup>, 张雅淇<sup>1</sup>, 于 鹏<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>华北理工大学研究生学院, 河北 唐山

<sup>2</sup>华北理工大学附属医院核医学科, 河北 唐山

收稿日期: 2026年8月23日; 录用日期: 2026年9月16日; 发布日期: 2026年9月24日

## 摘 要

目的: 探讨超声、<sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT显像及生化指标在甲状旁腺病变术前诊断中的应用价值。方法: 回顾性分析81例疑似甲状旁腺疾病患者的临床资料。在全组患者中评价超声与SPECT/CT检查结果的一致性, 比较SPECT/CT阳性组与阴性组的生化指标, 并对两项影像检查结果不一致的病例进行描述性分析。将其中31例具有完整术后病理结果的患者纳入病理验证亚组, 以术后病理结果为金标准, 比较超声、SPECT/CT以及“任一阳性”和“同时阳性”两种联合策略的诊断效能。采用受试者工作特征曲线评价血钙、甲状旁腺激素(PTH)及二者联合对病理阳性的鉴别效能, 并构建多模态联合模型。结果: 全组81例患者中, 超声与SPECT/CT检查结果仅呈轻度一致( $\kappa = 0.138$ )。SPECT/CT阳性组的血钙、PTH、碱性磷酸酶及肌酐水平均高于阴性组(均 $P < 0.05$ )。两项影像检查结果不一致者35例(43.2%), 其中超声阳性而SPECT/CT阴性21例, SPECT/CT阳性而超声阴性14例。在31例病理验证亚组中, 超声与SPECT/CT的灵敏度均为73.1%, SPECT/CT的特异度高于超声(100.0%比80.0%)。“任一阳性”策略的灵敏度最高(92.3%), “同时阳性”策略的特异度和阳性预测值均为100.0%。病理阳性组的血钙和PTH水平均高于病理阴性组( $P = 0.039, 0.001$ )。ROC曲线分析显示, PTH、血钙及二者联合诊断的曲线下面积分别为0.923、0.800和0.915; 超声、SPECT/CT、血钙及PTH构成的多模态联合模型曲线下面积为0.977, 但因病理阴性病例数较少, 该结果仍需谨慎解释。结论: 超声与<sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT在甲状旁腺病变术前诊断中具有互补价值。PTH具有较好的鉴别效能, 血钙可提供辅助诊断信息。联合影像检查及生化指标的多模态评估可能提高术前诊断效能, 但仍需在更大样本中进一步验证。

## 关键词

甲状旁腺病变, 超声, SPECT/CT, <sup>99m</sup>Tc-MIBI, 甲状旁腺激素, 血钙, 多模态诊断

\*通讯作者。

# A Study of the Preoperative Diagnostic Value of Multimodal Imaging and Biochemical Markers for Parathyroid Lesions: A Single-Center Retrospective Analysis

Shuai Zhang<sup>1</sup>, Yaqi Zhang<sup>1</sup>, Peng Yu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

<sup>2</sup>Department of Nuclear Medicine, Affiliated Hospital of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: August 23, 2026; accepted: September 16, 2026; published: September 24, 2026

## Abstract

**Objective:** To investigate the value of ultrasonography, <sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT, and biochemical markers in the preoperative diagnosis of parathyroid lesions. **Methods:** The clinical data of 81 patients with suspected parathyroid disease were retrospectively analyzed. In the entire cohort, agreement between ultrasonography and SPECT/CT was evaluated, biochemical markers were compared between patients with positive and negative SPECT/CT findings, and cases with discordant imaging findings were descriptively analyzed. Thirty-one patients with complete postoperative pathological results were included in a pathological validation subgroup. Using postoperative pathology as the reference standard, the diagnostic performance of ultrasonography, SPECT/CT, and two combined strategies—"any-positive" and "both-positive"—was compared. Receiver operating characteristic curves were used to evaluate the ability of serum calcium, parathyroid hormone (PTH), and their combination to discriminate pathology-positive lesions, and a multimodal model was constructed. **Results:** In the entire cohort of 81 patients, ultrasonography and SPECT/CT showed only slight agreement ( $\kappa = 0.138$ ). Serum calcium, PTH, alkaline phosphatase, and creatinine levels were higher in the SPECT/CT-positive group than in the SPECT/CT-negative group (all  $P < 0.05$ ). Discordant ultrasonography and SPECT/CT findings were observed in 35 patients (43.2%), including 21 with positive ultrasonography and negative SPECT/CT findings and 14 with negative ultrasonography and positive SPECT/CT findings. In the pathological validation subgroup of 31 patients, ultrasonography and SPECT/CT both had a sensitivity of 73.1%, whereas SPECT/CT had higher specificity than ultrasonography (100.0% vs. 80.0%). The any-positive strategy achieved the highest sensitivity (92.3%), while the both-positive strategy achieved a specificity and positive predictive value of 100.0%. Serum calcium and PTH levels were higher in the pathology-positive group than in the pathology-negative group ( $P = 0.039$  and  $P = 0.001$ , respectively). Receiver operating characteristic curve analysis showed that the areas under the curve for PTH, serum calcium, and their combination were 0.923, 0.800, and 0.915, respectively. The multimodal model incorporating ultrasonography, SPECT/CT, serum calcium, and PTH achieved an area under the curve of 0.977; however, this finding should be interpreted cautiously because of the small number of pathology-negative cases. **Conclusion:** Ultrasonography and <sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT have complementary value in the preoperative diagnosis of parathyroid lesions. PTH demonstrates good discriminatory ability, while serum calcium provides supplementary diagnostic information. Multimodal assessment combining imaging findings and biochemical markers may improve preoperative diagnostic performance, although further validation in larger cohorts is required.

## Keywords

Parathyroid Lesions, Ultrasonography, SPECT/CT,  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI, Parathyroid Hormone, Serum Calcium, Multimodal Diagnosis

Copyright © 2026 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. 引言

甲状旁腺疾病是内分泌系统常见疾病之一,其中以原发性甲状旁腺功能亢进症及甲状旁腺腺瘤较为常见[1]。该类疾病常伴有甲状旁腺激素(parathyroid hormone, PTH)升高、血钙代谢异常及不同程度的骨肾损害[2],临床可表现为泌尿系结石、骨痛、骨质疏松、消化道症状及乏力等,部分患者亦可仅表现为实验室指标异常[3]。随着血生化检测和影像学检查的普及,越来越多无症状或轻症患者被发现。对于拟行手术治疗的患者而言,术前准确识别甲状旁腺病变并进行病灶定位,对于优化治疗策略和提高手术成功率具有重要意义[4]。

目前,超声和  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT/CT 显像是甲状旁腺病变术前评估中最常用的两种影像学方法[5]。超声检查具有操作简便、无创、无辐射及费用较低等优点[6],尤其适用于颈部浅表病灶的初步筛查;但其结果易受操作者经验、甲状腺结节干扰、病灶体积及异位腺体位置等因素影响[7]。 $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT/CT 显像兼具功能显像与解剖定位优势,能够在一定程度上弥补单纯结构成像的局限,尤其在异位病灶、复发病灶及复杂病例中具有较高应用价值[8]。然而,SPECT/CT 同样可能受病灶体积较小、细胞成分差异、线粒体含量以及甲状腺结节摄取等因素影响,出现假阴性或假阳性结果[9]。由此可见,单一影像方法均存在一定局限,超声与 SPECT/CT 之间更可能是互补关系,而非简单替代关系[10]。

除影像学检查外,血钙、血磷、PTH、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)、维生素 D 及肌酐等生化指标也是甲状旁腺疾病诊断和病情评估的重要依据。其中,PTH 和血钙水平可较直接地反映甲状旁腺功能状态[11],血磷、ALP、维生素 D 及肌酐则可从钙磷代谢、骨代谢和肾功能等角度提供补充信息[12]。对于影像学表现不典型或不同检查结果不一致的患者,生化指标可能为临床判断提供额外支持。因此,从“结构影像 + 功能影像 + 生化指标”的角度进行综合评估,具有明确的临床意义[13]。

既往研究多集中于单一影像方法的诊断表现[14],或仅比较超声与 MIBI 显像的检出效率;对于影像结果与生化指标进行整合分析,并同时结合病理验证亚组评价其诊断效能的研究相对有限[15]。尤其在真实临床资料中,如何在全组病例中分析不同模态信息之间的关系,并在具有病理金标准的患者中验证其诊断价值,仍具有一定研究空间。

基于此,本研究回顾性分析本院 81 例疑似甲状旁腺疾病患者的临床资料,首先在全组病例中评价超声与  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT/CT 结果的一致性,并分析不同影像结果患者的生化指标差异;进一步在手术病理亚组中,以术后病理结果为金标准,比较超声、SPECT/CT 及不同联合策略的诊断效能,同时探讨关键生化指标及多模态联合模型在甲状旁腺病变术前诊断中的应用价值,以期临床术前评估和诊疗决策提供参考。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

本研究为单中心回顾性研究,纳入华北理工大学附属医院收治或检查的疑似甲状旁腺疾病患者共 81 例。所有患者均因甲状旁腺功能异常、血钙代谢异常、颈部可疑病灶、泌尿系结石、骨代谢异常或临床

怀疑甲状旁腺病变而接受相关检查。

### 2.1.1. 总体研究对象(81 例)

#### 1) 纳入标准

1. 2020 年 4 月至 2026 年 4 月于本院因以下任一情况就诊:

1.1. PTH 升高

1.2. 高钙血症

1.3. 临床怀疑甲状旁腺病变

1.4. 术前定位评估需求

2. 完成至少两项检查中的一项:

2.1. 颈部超声

2.2.  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT/CT

3. 具有同期(检查前后 2 周内)至少 1 项关键生化指标:

3.1. 血钙

3.2. 血磷

3.3. PTH

4. 临床资料可追溯

#### 2) 排除标准

1. 既往甲状旁腺手术史

2. 明确继发性甲旁亢透析患者

3. 图像质量差无法判读

4. 缺失核心变量

### 2.1.2. 病例验证亚组(手术组)

#### 1) 纳入标准

在总体研究对象基础上, 同时满足:

1. 接受甲状旁腺相关手术

2. 有完整术后病理结果

#### 2) 排除标准

1. 病理结果不明确

2. 手术与影像检查间隔过长

## 2.2. 影像学检查方法

### 2.2.1. 超声检查

患者取仰卧位, 充分暴露颈前区。采用高频线阵探头对甲状腺双叶、峡部及甲状旁腺常见解剖区域进行扫查, 必要时向胸骨后及颈部异位区域延伸观察。重点记录可疑病灶的位置、大小、形态、边界、内部回声、血流信号及与甲状腺、气管、食管和颈部血管的关系。

超声报告提示甲状旁腺来源可能、甲状旁腺腺瘤、甲状旁腺增生, 或描述为甲状腺后方低回声结节并符合甲状旁腺病变特征者, 判定为超声阳性; 未见明确甲状旁腺区异常病灶者判定为超声阴性。

### 2.2.2. $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT/CT 显像

患者静脉注射  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI 后进行早期及延迟显像, 必要时行 SPECT/CT 断层融合显像。由核医学医

师结合早期、延迟期图像及 CT 解剖定位综合判断。若病灶区出现异常放射性摄取,且延迟期仍有放射性滞留,或融合图像显示与甲状旁腺解剖区域相符的异常浓聚灶,则判定为 SPECT/CT 阳性,见图 1;未见明确异常摄取或滞留者判定为阴性。

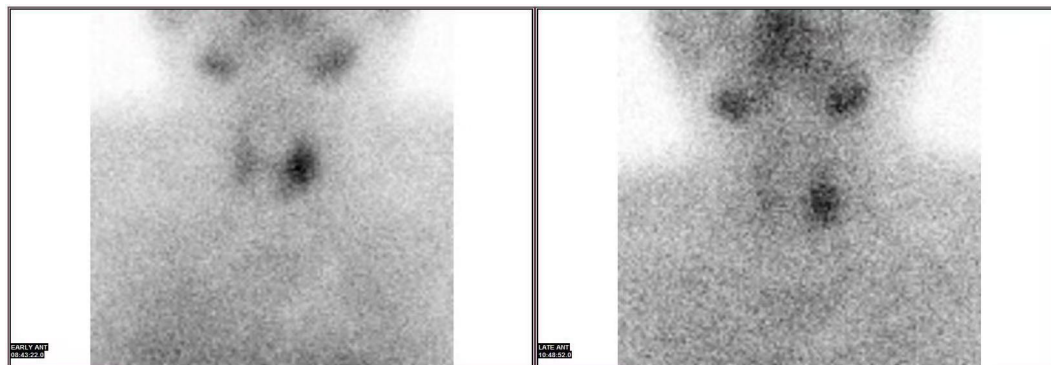


**Figure 1.** Representative dual-phase  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI imaging of a parathyroid lesion  
**图 1.** 典型甲状旁腺病变  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI 双时相显像

### 2.3. 生化指标收集

收集患者同期或接近影像检查时间的实验室指标,包括:

- 血钙;
- 血磷;
- 甲状旁腺激素;
- 碱性磷酸酶;
- 维生素 D;
- 肌酐。

对于存在多次检测结果的患者,优先选取影像检查前后时间最接近、且未接受手术或特殊治疗干预前的结果。若部分指标缺失,则在相应统计分析中采用可用病例分析法。

### 2.4. 病理结果与分组

以术后病理结果作为诊断金标准。病理提示甲状旁腺腺瘤、甲状旁腺增生、甲状旁腺功能亢进相关病变或其他明确甲状旁腺来源病变者,定义为病理阳性;病理提示非甲状旁腺来源组织或未见甲状旁腺病变者,定义为病理阴性。

根据是否具有术后病理结果,将患者分为:

- 1) **全组病例:** 81 例,用于一般资料、生化指标分布、超声与 SPECT/CT 一致性分析;
- 2) **手术病理亚组:** 接受手术并获得病理结果者,用于诊断效能分析。

这一设计可以避免将未手术患者简单视为阴性,从而减少验证偏倚。

### 2.5. 联合判断策略

本研究设置两种影像联合判断策略:

#### 2.5.1. 任一阳性策略

超声或 SPECT/CT 任一检查阳性,即判定联合影像结果为阳性。该策略偏向提高灵敏度,适用于筛查和减少漏诊。

2.5.2. 同时阳性策略

仅当超声和 SPECT/CT 均为阳性时，才判定联合影像结果为阳性。该策略偏向提高特异度，适用于术前精准定位和手术决策。

2.6. 多模态联合模型

在病理验证亚组中，进一步探索影像结果联合生化指标的诊断价值。考虑到样本量有限，为避免过拟合，联合模型仅纳入少量临床意义明确的变量，初步拟定如下：

- 模型 1：超声；
- 模型 2：SPECT/CT；
- 模型 3：超声 + SPECT/CT；
- 模型 4：超声 + SPECT/CT + 血钙 + PTH。

若病理阳性和阴性例数不足以支持多因素 Logistic 回归，则采用简化评分法或描述性联合分析，不强构建复杂预测模型。

2.7. 统计学分析

采用 SPSS、R 或 Python 进行统计分析。计量资料符合正态分布者以均数 ± 标准差表示，组间比较采用独立样本 t 检验；不符合正态分布者以中位数和四分位数表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数和百分比表示，组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。

以病理结果为金标准，计算超声、SPECT/CT 及联合策略的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值。采用 Kappa 检验评价超声与 SPECT/CT 之间的一致性。采用 ROC 曲线评价生化指标及联合模型的诊断效能，计算曲线下面积。P < 0.05 为差异有统计学意义。对超声与 SPECT/CT 不一致病例仅进行例数和构成比的描述。

3. 结果

3.1. 一般资料

本研究共纳入疑似甲状旁腺疾病患者 81 例，其中男性 26 例，女性 55 例，平均年龄(55.9 ± 13.1)岁。接受手术 31 例，病理证实甲状旁腺病变 26 例。超声阳性 41 例，SPECT/CT 阳性 34 例。研究对象基线特征见图 2，详细一般资料及实验室指标见表 1。

Table 1. General characteristics and biochemical profiles of all 81 patients  
表 1. 全组 81 例患者一般资料与生化指标特征

| 指标                         | 全组患者                   |
|----------------------------|------------------------|
| 例数(例)                      | 81                     |
| 年龄(岁)                      | 55.9 ± 13.1            |
| 男/女(例)                     | 26/55                  |
| 血钙(mmol/L, n = 73)         | 2.65 ± 0.41            |
| 血磷(mmol/L, n = 70)         | 1.04 ± 0.45            |
| 甲状旁腺激素 PTH (pg/mL, n = 74) | 124.45 (88.07, 399.58) |
| 碱性磷酸酶 ALP (U/L, n = 69)    | 94.00 (72.00, 119.00)  |
| 25-羟维生素 D (ng/mL, n = 50)  | 18.30 ± 8.71           |
| 肌酐(μmol/L, n = 70)         | 67.50 (53.25, 93.50)   |

续表

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| 超声阳性[例(%)]        | 41 (50.6) |
| SPECT/CT 阳性[例(%)] | 34 (42.0) |
| 接受手术[例(%)]        | 31 (38.3) |
| 病理阳性[例(%)]        | 26 (32.1) |

计量资料符合正态分布者以  $\bar{x} \pm s$  表示, 偏态分布资料以 M (P25, P75)表示; 计数资料以例数(%)表示。PTH: 甲状旁腺激素; ALP: 碱性磷酸酶。

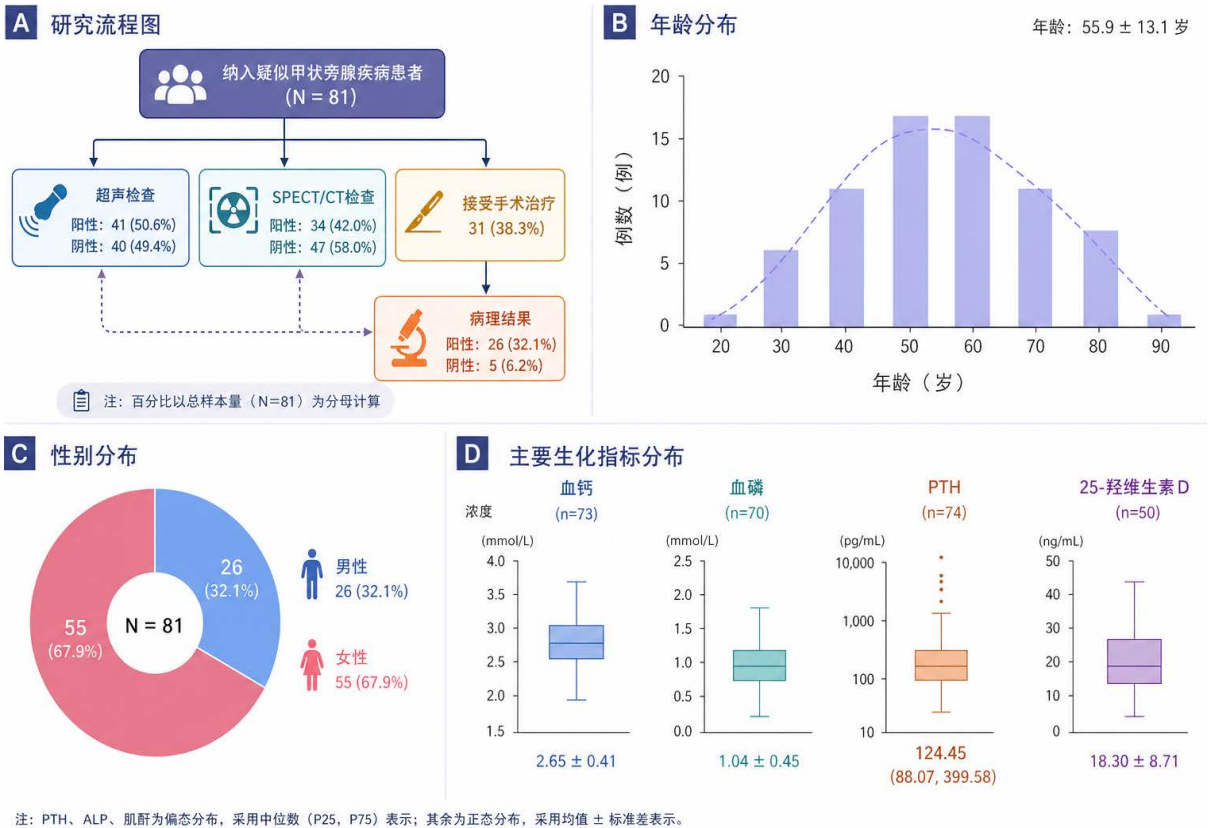


**Figure 2.** Baseline characteristics of the study population  
**图 2.** 研究对象基线特征

### 3.2. 超声与 SPECT/CT 检查结果的一致性分析

在全组 81 例患者中, 采用统一二分类标准对超声和 SPECT/CT 结果进行一致性分析。结果显示, 超声阳性 41 例, 阴性 40 例; SPECT/CT 阳性 34 例, 阴性 47 例。两种检查结果的列联表见表 2。

其中, 超声与 SPECT/CT 同时阳性 20 例, 同时阴性 26 例; 超声阳性而 SPECT/CT 阴性 21 例, SPECT/CT 阳性而超声阴性 14 例。Cohen's Kappa 分析显示, 两种检查方法的一致性较低(Kappa = 0.138), 提示超声与 SPECT/CT 在甲状旁腺病变检出中仅呈轻度一致, 一致性热图见图 3。两类不一致病例合计 35 例, 占全组 43.29%。由于缺少病例级病灶大小、位置、血供及对应病理资料, 本研究未进一步进行机制性亚组比较。

上述结果表明, 超声与 SPECT/CT 在甲状旁腺病变的识别中存在一定差异, 二者并不能相互替代。超声在部分病例中可提示甲状旁腺来源的可疑病灶, 而 SPECT/CT 则能够发现部分超声未能识别的功能

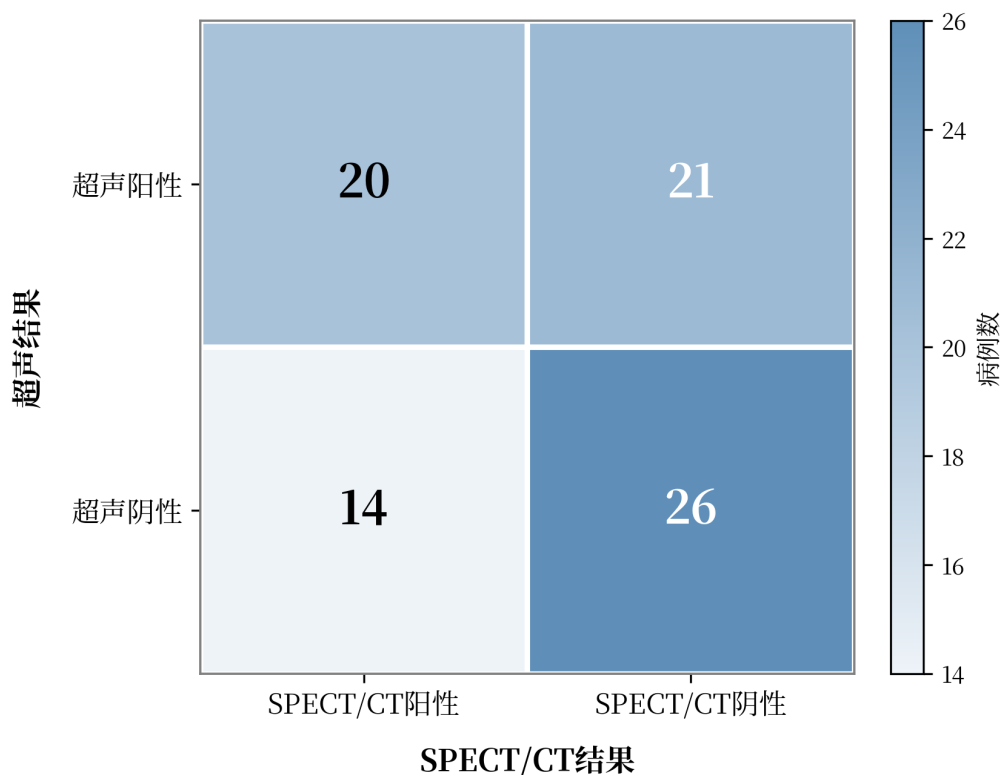
性异常病灶，提示两种影像学方法具有互补性。

**Table 2.** Agreement analysis between ultrasonography and SPECT/CT results

**表 2.** 超声与 SPECT/CT 结果一致性分析

|      | SPECT/CT 阳性 | SPECT/CT 阴性 | 合计 |
|------|-------------|-------------|----|
| 超声阳性 | 20          | 21          | 41 |
| 超声阴性 | 14          | 26          | 40 |
| 合计   | 34          | 47          | 81 |

注：采用 Cohen's Kappa 检验评价超声与 SPECT/CT 结果一致性，Kappa = 0.138。



行合计：超声阳性41例，超声阴性40例

列合计：SPECT/CT阳性34例，SPECT/CT阴性47例，总计81例

注：Cohen's Kappa = 0.138，提示两种检查方法仅呈轻度一致。

**Figure 3.** Heatmap of agreement between ultrasonography and SPECT/CT results

**图 3.** 超声和 SPECT/CT 结果一致性热图

### 3.3. 不同影像结果患者的生化指标比较

在全组 81 例患者中，根据 SPECT/CT 结果分为阳性组和阴性组，对两组生化指标进行比较，结果见表 3。结果显示，SPECT/CT 阳性组血钙、PTH、ALP 及肌酐水平均高于 SPECT/CT 阴性组，差异具有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。其中，PTH 在 SPECT/CT 阳性组显著升高[244.75 (129.93, 571.85) pg/mL vs 91.28 (48.90, 143.30) pg/mL,  $P < 0.001$ ]。维生素 D 在两组间差异接近统计学意义( $P = 0.056$ )，血磷差异无统计学意义( $P = 0.247$ )。

**Table 3.** Comparison of biochemical parameters between patients with positive and negative SPECT/CT results  
**表 3.** 不同 SPECT/CT 结果患者生化指标比较

| 指标                | SPECT/CT 阳性组            | SPECT/CT 阴性组          | P 值    |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|--------|
| 血钙(mmol/L)        | 2.70 (2.59, 2.86)       | 2.43 (2.32, 2.69)     | 0.005  |
| 血磷(mmol/L)        | 0.89 (0.71, 1.12)       | 1.01 (0.87, 1.11)     | 0.247  |
| PTH (pg/mL)       | 244.75 (129.93, 571.85) | 91.28 (48.90, 143.30) | <0.001 |
| ALP (U/L)         | 118.00 (74.50, 167.00)  | 85.00 (72.00, 101.75) | 0.007  |
| 25-羟维生素 D (ng/mL) | 15.31 (10.47, 20.00)    | 19.60 (14.28, 27.14)  | 0.056  |
| 肌酐(μmol/L)        | 81.50 (58.75, 109.25)   | 59.50 (50.75, 74.00)  | 0.022  |

注：计量资料以 M (P25, P75)表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。PTH：甲状旁腺激素；ALP：碱性磷酸酶。

**3.4. 手术病理亚组中超声、SPECT/CT 及联合策略的诊断效能**

在接受手术并获得术后病理结果的 31 例患者中，以病理结果作为金标准，对超声、SPECT/CT 及联合判断策略的诊断效能进行分析，结果见表 4。超声与 SPECT/CT 的灵敏度均为 73.1%，但 SPECT/CT 的特异度高于超声(100.0% vs 80.0%)，提示 SPECT/CT 在排除非甲状旁腺病变方面更具优势。任一阳性策略的灵敏度最高(92.3%)，准确率为 90.3%，Kappa 值为 0.669，显示出较好的综合诊断效能。与此同时，同时阳性策略的特异度和阳性预测值均为 100.0%，但灵敏度下降至 53.8%，提示其更适用于术前高特异性定位和手术决策场景。

**Table 4.** Diagnostic performance of different strategies in the surgical pathology subgroup  
**表 4.** 手术病理亚组中不同诊断策略的诊断效能

| 方法       | 灵敏度(%) | 特异度(%) | 准确率(%) | PPV (%) | NPV (%) | Kappa |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|-------|
| 超声       | 73.1   | 80.0   | 74.2   | 95.0    | 36.4    | 0.358 |
| SPECT/CT | 73.1   | 100.0  | 77.4   | 100.0   | 41.7    | 0.467 |
| 任一阳性     | 92.3   | 80.0   | 90.3   | 96.0    | 66.7    | 0.669 |
| 同时阳性     | 53.8   | 100.0  | 61.3   | 100.0   | 29.4    | 0.273 |

注：以术后病理结果为金标准。PPV 为阳性预测值，NPV 为阴性预测值。Kappa 值采用 Cohen's Kappa 检验计算。

**3.5. 生化指标对病理阳性的辅助诊断价值**

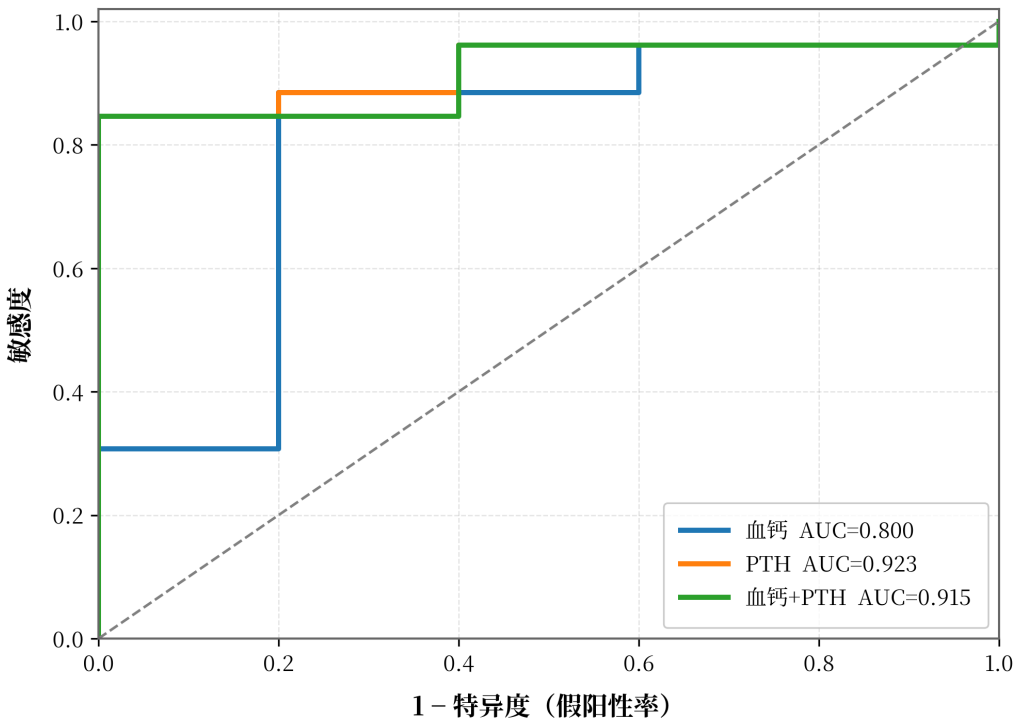
在 31 例手术病理亚组中，病理阳性组 26 例，病理阴性组 5 例。两组生化指标比较结果见表 5，病理阳性组血钙和 PTH 水平均高于病理阴性组，差异具有统计学意义( $P = 0.039$ ,  $P = 0.001$ )。其中，病理阳性组 PTH 水平为 244.75 (116.00, 641.00) pg/mL，明显高于病理阴性组的 46.24 (37.25, 85.33) pg/mL。血磷、ALP、维生素 D 及肌酐在两组间差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

进一步绘制 ROC 曲线评价血钙、PTH 及二者联合对病理阳性的鉴别效能。结果显示，PTH 的曲线下面积最大( $AUC = 0.923$ )，提示其对病理阳性的鉴别能力较好；血钙的 AUC 为 0.800，亦具有一定辅助诊断价值；血钙与 PTH 联合模型的 AUC 为 0.915，未较 PTH 单独指标显示出明显增益。上述结果提示，PTH 是本研究中表现较优的生化指标，而血钙可作为辅助参考指标。图 4 示血钙、PTH 及联合模型的 ROC 曲线。

**Table 5.** Comparison of biochemical parameters between the pathology-positive and pathology-negative groups  
**表 5.** 病理阳性组与病理阴性组生化指标比较

| 指标                | 病理阳性组                   | 病理阴性组                | P 值   |
|-------------------|-------------------------|----------------------|-------|
| 血钙(mmol/L)        | 2.73 (2.57, 2.93)       | 2.30 (2.24, 2.31)    | 0.039 |
| 血磷(mmol/L)        | 0.86 (0.73, 1.16)       | 0.95 (0.95, 1.07)    | 0.254 |
| PTH (pg/mL)       | 244.75 (116.00, 641.00) | 46.24 (37.25, 85.33) | 0.001 |
| ALP (U/L)         | 103.00 (72.00, 146.00)  | 87.00 (81.00, 99.00) | 0.656 |
| 25-羟维生素 D (ng/mL) | 14.42 (9.66, 20.31)     | 16.83 (14.79, 18.86) | 0.749 |
| 肌酐(μmol/L)        | 82.00 (58.25, 118.25)   | 49.00 (49.00, 69.00) | 0.081 |

注：计量资料以 M (P25, P75)表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。病理阳性组为术后病理证实甲状旁腺病变者；病理阴性组为术后病理未证实甲状旁腺病变者。PTH：甲状旁腺激素；ALP：碱性磷酸酶。



注：基于手术病理亚组（n=31）绘制。血钙AUC=0.800，PTH AUC=0.923，血钙+PTH联合AUC=0.915。

**Figure 4.** ROC curves of serum calcium, PTH, and the combined model  
**图 4.** 血钙、PTH 和联合模型的 ROC 曲线

3.6. 多模态联合模型分析

为进一步评价多模态信息的综合诊断价值，本研究在手术病理亚组中探索性构建了 4 种诊断模型，结果见表 6。模型 1 和模型 2 分别基于单一影像方法，模型 3 为超声和 SPECT/CT 联合模型，模型 4 进一步纳入血钙和 PTH 构建多模态联合模型。与表 4 中的规则型联合判断不同，表 6 中的模型 3 和模型 4 为基于 Logistic 回归构建的联合模型。

结果显示，单一超声模型的 AUC 为 0.765，SPECT/CT 模型的 AUC 为 0.865，提示 SPECT/CT 较超声具有更好的整体判别能力。超声和 SPECT/CT 联合后，模型 3 的 AUC 提高至 0.935，显示出较优的综

合诊断效能。在此基础上,进一步加入血钙和 PTH 后,模型 4 的 AUC 升至 0.977,灵敏度为 96.2%,特异度为 100.0%,为 4 种模型中表现最佳。

需要指出的是,本研究手术病理阴性病例数较少,部分模型特异度达到 100.0%,但其 95% CI 范围较宽,提示结果仍需谨慎解释。总体而言,影像学信息与关键生化指标之间具有一定互补价值,多模态联合模型显示出较高的整体判别能力,但考虑到本研究样本量有限且病理阴性病例较少,其结果仍需在更大样本中进一步验证。

**Table 6.** Comparison of the diagnostic performance of different models  
**表 6.** 不同模型诊断效能比较

| 模型   | 纳入变量                     | AUC   | 灵敏度(% , 95% CI)  | 特异度(% , 95% CI)    |
|------|--------------------------|-------|------------------|--------------------|
| 模型 1 | 超声                       | 0.765 | 73.1 (52.2~88.4) | 80.0 (28.4~99.5)   |
| 模型 2 | SPECT/CT                 | 0.865 | 73.1 (52.2~88.4) | 100.0 (47.8~100.0) |
| 模型 3 | 超声 + SPECT/CT            | 0.935 | 73.1 (52.2~88.4) | 100.0 (47.8~100.0) |
| 模型 4 | 超声 + SPECT/CT + 血钙 + PTH | 0.977 | 96.2 (80.4~99.9) | 100.0 (47.8~100.0) |

注: AUC 为受试者工作特征曲线下面积。模型 3 和模型 4 采用 Logistic 回归构建,灵敏度和特异度按 Youden 指数最佳截点计算;95% CI 采用 Clopper-Pearson 精确法计算。

#### 4. 讨论

本研究基于 81 例疑似甲状旁腺疾病患者的临床资料,采用“全组多模态特征分析 + 手术病理亚组诊断效能验证”的研究设计,系统评价了超声、<sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT 及生化指标在甲状旁腺病变术前诊断中的应用价值。结果显示,超声与 SPECT/CT 在全组病例中的一致性较低,仅呈轻度一致(Kappa = 0.138),提示两种检查方法反映的病灶信息并不完全相同;在手术病理亚组中,超声与 SPECT/CT 均具有一定诊断效能,其中 SPECT/CT 特异度更高,而“任一阳性”联合策略具有更高灵敏度。此外,PTH 和血钙对病理阳性具有一定辅助鉴别价值,多模态联合模型表现出较高整体判别能力。

关于超声与 SPECT/CT 的一致性问题的,本研究结果提示二者并非简单替代关系。全组 81 例患者中,超声和 SPECT/CT 仅呈轻度一致,这一结果与临床实际较为吻合[9] [10]。超声主要依赖解剖结构显示,对于颈部浅表病灶具有较好的筛查优势,但易受操作者经验、甲状腺结节、病灶位置及患者体型等因素影响[6]。SPECT/CT 则兼具功能显像和解剖定位优势,能够发现部分超声未能识别的功能性异常病灶[5] [8] [16],但同样可能受病灶体积较小、摄取不足及甲状腺结节摄取等因素影响[7] [17]。因此,超声阳性而 SPECT/CT 阴性,以及 SPECT/CT 阳性而超声阴性的情况在本研究中均可见到,这也从侧面说明两种检查方法在甲状旁腺病变识别中具有互补性。对于术前定位评估而言,单纯依赖某一种检查方法可能不足,联合应用更符合实际临床路径。本研究 21 例超声阳性/SPECT/CT 阴性和 14 例反向不一致病例提示两种检查具有互补性;小病灶、异位位置、MIBI 摄取差异及甲状腺共存病变可能造成冲突,但因缺少病例级资料,本研究不能验证上述机制。

在手术病理亚组中,超声与 SPECT/CT 均显示出一定诊断价值。结果表明,两者灵敏度均为 73.1%,提示对病理阳性病灶的检出能力接近;但 SPECT/CT 特异度为 100.0%,高于超声的 80.0%,说明 SPECT/CT 在排除非甲状旁腺病变方面更具优势[14] [17]。这一结果与 SPECT/CT 兼顾功能信息和解剖定位的特点一致。进一步分析联合策略可见,“任一阳性”策略灵敏度最高(92.3%),提示其有利于减少漏诊,更适合术前筛查和初步判断;“同时阳性”策略特异度和阳性预测值均为 100.0%,但灵敏度下降至 53.8%,更适合需要高特异性支持的术前精准定位场景。由此可见,不同联合策略适用于不同临床目标,诊断路

径的选择应结合筛查需求、定位需求及手术决策需求综合考虑[4]。与既往 Meta 分析相比,本研究超声灵敏度 73.1%接近文献合并值 76.1% [14]; SPECT/CT 灵敏度 73.1%、特异度 100.0%与 Wan 等报告的 68% 和 98%总体一致[15]。本研究 PTH 的 AUC 为 0.923,但目前系统评价主要评价 Ca/P 比值等复合生化指标[18],诊断目标不同,不宜直接比较。

本研究结果支持生化指标在甲状旁腺病变诊断中的辅助作用。全组病例分析显示, SPECT/CT 阳性组血钙、PTH、ALP 及肌酐水平高于阴性组,其中 PTH 差异最为明显,提示功能显像阳性与甲状旁腺功能活跃程度之间可能存在一定联系[2][11]。在手术病理亚组中比较发现,病理阳性组血钙和 PTH 均显著高于病理阴性组,而血磷、ALP、维生素 D 及肌酐差异无统计学意义。ROC 分析进一步显示, PTH 的 AUC 为 0.923,为本研究中表现较优的单项生化指标;血钙 AUC 为 0.800,亦具有一定辅助鉴别能力[12];血钙与 PTH 联合模型 AUC 为 0.915,未较 PTH 单独指标显示出明显增益。该结果提示,在本研究样本中, PTH 对病理阳性的鉴别能力较强,血钙可作为辅助参考指标,但简单叠加血钙并不一定显著提升 PTH 的诊断表现。这也说明,多模态整合并不意味着所有变量机械叠加后都会带来稳定增益,关键在于变量之间的信息互补程度。

在此基础上,本研究探索性构建了多模态联合模型。结果显示,单一超声模型 AUC 为 0.765, SPECT/CT 模型 AUC 为 0.865;超声与 SPECT/CT 联合后,模型 AUC 提高至 0.935;进一步加入血钙和 PTH 后,模型 AUC 升至 0.977,提示影像学信息与关键生化指标之间可能存在一定互补价值。从结果趋势来看,多模态整合较单一影像方法具有更好的整体判别能力。但需要强调的是,本研究手术病理阴性病例仅 5 例,部分模型特异度达到 100.0%,且 95% CI 范围较宽,提示该结果可能受小样本影响。因此,对模型结果应作探索性理解,而不宜将其解释为已经建立了稳定、可直接推广的预测工具。今后仍需在更大样本、更多病理阴性病例的研究中进一步验证。

本研究具有一定临床意义。一方面,它从回顾性病例出发,较为完整地串联了“影像一致性-诊断效能-生化指标辅助价值-多模态联合模型”这一分析链条;另一方面,在样本量有限的条件下,采用“全组分析+病理亚组验证”的设计,也较好避免了将未手术病例简单视为阴性的偏倚问题。对于临床实践而言,本研究提示:超声适合作为初步筛查工具, SPECT/CT 在提高特异性和术前定位方面具有重要价值, PTH 和血钙可作为关键辅助指标,而多模态综合评估更有助于提升术前判断的完整性。

本研究亦存在若干局限。第一,本研究为单中心回顾性研究,样本量总体有限,尤其是手术病理阴性病例数较少,可能影响特异度及联合模型结果的稳定性。第二,并非所有患者均接受手术并获得病理结果,因此全组病例无法全部纳入金标准验证分析。第三,部分生化指标存在缺失,且不同指标的检测人数不完全一致,可能对统计分析带来一定影响。第四,本研究对影像结果主要进行二分类处理,尚未进一步纳入病灶大小、体积、部位及定量显像参数等更精细的信息。未来可在扩大样本量的基础上,开展多中心研究,并结合更丰富的影像定量指标与临床随访结果,以进一步验证多模态综合评估在甲状旁腺病变术前诊断中的应用价值。此外,现有资料缺少不一致病例的病灶大小、位置、血供、细胞成分及对应病理明细,限制了对影像冲突原因的深入分析。

## 5. 结论

超声和  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT/CT 在甲状旁腺病变术前诊断中各具特点,二者结果一致性较低,但具有一定互补价值。超声适用于初步筛查, SPECT/CT 在提高特异性和术前定位方面更具优势;其中,“任一阳性”联合策略有助于提高灵敏度,而“同时阳性”策略有助于提高特异度和阳性预测值。PTH 是本研究中表现较优的生化指标,血钙亦具有一定辅助诊断价值。基于影像与关键生化指标的多模态综合评估显示出较好的整体判别能力,但考虑到本研究样本量有限,尤其病理阴性病例较少,相关结果仍需在更

大样本中进一步验证。

## 声 明

通过我院医学伦理委员会审查批准(批准文号: KY20251027036), 本回顾性研究免签署知情同意书, 所有研究过程均严格保护患者隐私, 符合伦理规范。

## 参考文献

- [1] Khan, A.A., Hanley, D.A., Rizzoli, R., *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>
- [2] Bilezikian, J.P., Brandi, M.L., Eastell, R., Silverberg, S.J., Udelsman, R., Marcocci, C., *et al.* (2014) Guidelines for the Management of Asymptomatic Primary Hyperparathyroidism: Summary Statement from the Fourth International Workshop. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **99**, 3561-3569. <https://doi.org/10.1210/jc.2014-1413>
- [3] Udelsman, R., Åkerström, G., Biagini, C., Duh, Q., Miccoli, P., Niederle, B., *et al.* (2014) The Surgical Management of Asymptomatic Primary Hyperparathyroidism: Proceedings of the Fourth International Workshop. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **99**, 3595-3606. <https://doi.org/10.1210/jc.2014-2000>
- [4] Migoń, J., Miciak, M., Pupka, D., Biernat, S., Nowak, L. and Kaliszewski, K. (2025) Analysis of Clinical and Biochemical Parameters and the Effectiveness of Surgical Treatment in Patients with Primary Hyperparathyroidism: A Single-Center Study. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article No. 996. <https://doi.org/10.3390/jcm14030996>
- [5] Casara, D., Rubello, D., Pelizzo, M. and Shapiro, B. (2001) Clinical Role of <sup>99m</sup>TcO<sub>4</sub>/MIBI Scan, Ultrasound and Intra-Operative Gamma Probe in the Performance of Unilateral and Minimally Invasive Surgery in Primary Hyperparathyroidism. *European Journal of Nuclear Medicine*, **28**, 1351-1359. <https://doi.org/10.1007/s002590100564>
- [6] Van De Fliedrt, E., Drophmann, A., Böck, J., Spelsberg, F. and Fürst, H. (2004) Primärer Hyperparathyreoidismus. *Der Chirurg*, **75**, 794-798. <https://doi.org/10.1007/s00104-004-0827-7>
- [7] Shah, S., Win, Z. and Al-Nahhas, A. (2008) Multimodality Imaging of the Parathyroid Glands in Primary Hyperparathyroidism. *Minerva Endocrinologica*, **33**, 193-202.
- [8] Zhang, R., Zhang, Z., Huang, P., *et al.* (2020) Diagnostic Performance of Ultrasonography, Dual-Phase <sup>99m</sup>Tc-MIBI Scintigraphy, Early and Delayed <sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT in Preoperative Parathyroid Gland Localization in Secondary Hyperparathyroidism. *BMC Medical Imaging*, **20**, Article No. 91.
- [9] Zhang, X., Zhang, C., Huang, H., Wang, J., Zhang, Y. and Hu, Q. (2020) Hemorrhagic Cholecystitis with Rare Imaging Presentation: A Case Report and a Lesson Learned from Neglected Medication History of NSAIDs. *BMC Gastroenterology*, **20**, Article No. 172. <https://doi.org/10.1186/s12876-020-01312-0>
- [10] Lu, R., Zhao, W., Yin, L., Guo, R., Wei, B., Jin, M., *et al.* (2021) Efficacy of Ultrasonography and Tc-99m MIBI SPECT/CT in Preoperative Localization of Parathyroid Adenomas Causing Primary Hyperthyroidism. *BMC Medical Imaging*, **21**, Article No. 87. <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00616-1>
- [11] Khan, M., Jose, A. and Sharma, S. (2026) Physiology, Parathyroid Hormone. StatPearls Publishing.
- [12] Goltzman, D., Mannstadt, M. and Marcocci, C. (2018) Physiology of the Calcium-Parathyroid Hormone-Vitamin D Axis. In: Giustina, A. and Bilezikian, J.P., Eds., *Frontiers of Hormone Research*, S. Karger AG, 1-13. <https://doi.org/10.1159/000486060>
- [13] Alexander, R.T. and Dimke, H. (2023) Effects of Parathyroid Hormone on Renal Tubular Calcium and Phosphate Handling. *Acta Physiologica*, **238**, e13959. <https://doi.org/10.1111/apha.13959>
- [14] Cheung, K., Wang, T.S., Farrokhyar, F., Roman, S.A. and Sosa, J.A. (2011) A Meta-Analysis of Preoperative Localization Techniques for Patients with Primary Hyperparathyroidism. *Annals of Surgical Oncology*, **19**, 577-583. <https://doi.org/10.1245/s10434-011-1870-5>
- [15] Wan, Q.C., Li, J.F., Tang, L.L., Lv, J., Xie, L., Li, J., *et al.* (2021) Comparing the Diagnostic Accuracy of 4D CT and <sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/CT for Localizing Hyperfunctioning Parathyroid Glands: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nuclear Medicine Communications*, **42**, 225-233. <https://doi.org/10.1097/mnm.0000000000001331>
- [16] Ibrahim, E.A.G. and Elsadawy, M.E. (2015) Combined Tc-99m Sesta MIBI Scintigraphy and Ultrasonography in Pre-operative Detection and Localization of Parathyroid Adenoma. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, **46**, 937-941. <https://doi.org/10.1016/j.ejrm.2015.07.006>
- [17] Keidar, Z., Solomonov, E., Karry, R., Frenkel, A., Israel, O. and Mekel, M. (2016) Preoperative [<sup>99m</sup>Tc]MIBI SPECT/CT Interpretation Criteria for Localization of Parathyroid Adenomas—Correlation with Surgical Findings. *Molecular*

- 
- Imaging and Biology*, **19**, 265-270. <https://doi.org/10.1007/s11307-016-1013-2>
- [18] Picón-Jaimes, Y.A., Mauri Juliachs, J., Arrufat Martin, I. and Lopez-Castaño, M. (2026) Serum Biomarker-Based Diagnostic Tools for Primary Hyperparathyroidism: A Systematic Review and Meta-Analysis with Implications for Primary Care. *Healthcare (Basel)*, **14**, Article No. 1001. <https://doi.org/10.3390/healthcare14081001>