

$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像与甲状旁腺功能相关指数对原发甲状旁腺腺瘤的诊断价值

李茜 沈紫薇 许守林 林夏雯 冯雪凤

南京大学医学院附属鼓楼医院核医学科, 南京 210008

通信作者: 冯雪凤, Email: 13585108682@163.com

【摘要】 目的 探讨 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -甲氧基异丁基异腈(MIBI) SPECT/CT 显像与钙磷比(Ca/P)、Wisconsin 指数(WIN)和甲状旁腺功能指数(PFindex)对原发甲状旁腺腺瘤(PA)的诊断价值。**方法** 该回顾性病例对照研究纳入 2019 年 10 月至 2024 年 4 月间南京大学医学院附属鼓楼医院临床疑似原发 PA 患者 257 例[男 75 例、女 182 例, 年龄(52.5 ± 14.1)岁], 患者均行 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像和血清甲状旁腺激素(PTH)、钙(Ca)、磷(P)检测。以术后病理诊断为“金标准”, 将患者分为腺瘤组和非腺瘤组, 计算 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像对原发 PA 的诊断效能。计算 Ca/P、WIN(Ca $\times$ PTH)和 PFindex(Ca $\times$ PTH/P)的数值。采用两独立样本 t 检验和 Mann-Whitney U 检验比较腺瘤组和非腺瘤组血清 PTH、Ca、P 和 3 个指数的差异, 采用 ROC 曲线分析和 Delong 检验评估上述指标对原发 PA 的诊断效能。**结果** 腺瘤组 189 例, 非腺瘤组 68 例。 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像诊断原发 PA 的准确性为 95.7% (246/257), 灵敏度为 98.4% (186/189), 特异度为 88.2% (60/68), 阳性预测值为 95.9% (186/194), 阴性预测值为 95.2% (60/63)。与非腺瘤组相比, 腺瘤组的血清 PTH、Ca、Ca/P、WIN 和 PFindex 明显升高, 血清 P 明显降低(t 值: $-6.16 \sim 3.18$, Z 值: $-8.42 \sim -7.86$, 均 $P < 0.05$)。血清 PTH、Ca、Ca/P、WIN 和 PFindex 对原发 PA 的灵敏度分别为: 67.7% (128/189)、75.1% (142/189)、78.8% (149/189)、84.7% (160/189)、80.4% (152/189); 特异度分别为 80.9% (55/68)、61.8% (42/68)、67.6% (46/68)、58.8% (40/68)、66.2% (45/68); 准确性分别为 71.2% (183/257)、71.6% (184/257)、75.9% (195/257)、77.8% (200/257)、76.7% (197/257)。ROC 曲线分析示, PFindex (AUC = 0.844) 对原发 PA 的诊断效能最优 (Z 值: $2.04 \sim 3.56$, 均 $P < 0.05$)。**结论** 在判断原发 PA 方面, 血清 PTH 具有高特异度, WIN 具有高灵敏度, PFindex 的诊断效能最好。血清 PTH、甲状旁腺功能相关指数 WIN 和 PFindex 作为初筛指标结合 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像对原发 PA 具有重要诊断价值。

【关键词】 甲状旁腺肿瘤; ^{99}mTc 甲氧基异丁基异腈; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 体层摄影术, X 线计算机

基金项目: 江苏省自然科学基金 (BK20230135); 南京鼓楼医院医学中心培育项目 (2022-YXZX-YX-03)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250905-00312

Diagnostic values of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging and parathyroid function-related indices for primary parathyroid adenoma

Li Han, Shen Ziwei, Xu Shoulin, Lin Xiawen, Feng Xuefeng

Department of Nuclear Medicine, Nanjing Drum Tower Hospital, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University, Nanjing 210008, China

Corresponding author: Feng Xuefeng, Email: 13585108682@163.com

【Abstract】 Objective To explore the diagnostic values of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -methoxyisobutylisonitrile (MIBI) SPECT/CT imaging, calcium-phosphorus ratio (Ca/P), Wisconsin index (WIN) and parathyroid function index (PFindex) for primary parathyroid adenoma (PA). **Methods** This retrospective case-control study was conducted on 257 patients (75 males, 182 females, age (52.5 ± 14.1) years) with clinically suspected primary PA at Nanjing Drum Tower Hospital, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University from October 2019 to April 2024. All patients underwent $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging and detections of serum parathyroid hormone (PTH), calcium (Ca), and phosphorus (P). Using postoperative pathological diagnosis as the "gold standard", patients were divided into adenoma group and non-adenoma group. Diagnostic efficacy of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging for primary PA was calculated. Values of Ca/P, WIN (Ca $\times$ PTH), and PFindex (Ca $\times$ PTH/P) were calculated. Serum PTH, Ca, P levels, and the three indices were compared between groups using independent-sample t test and Mann-Whitney U test. Diagnostic efficacy of the above

indicators for primary PA was evaluated by ROC curve analysis and DeLong test. **Results** There were 189 cases in adenoma group and 68 cases in non-adenoma group. The accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value, and negative predictive value of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging for diagnosing primary PA were 95.7% (246/257), 98.4% (186/189), 88.2% (60/68), 95.9% (186/194), and 95.2% (60/63), respectively. Compared with non-adenoma group, the levels of serum PTH, Ca, Ca/P, WIN, and PFindex in adenoma group were higher, while the serum P level was lower (t values: from -6.16 to 3.18, Z values: from -8.42 to -7.86, all $P < 0.05$). The sensitivities of serum PTH, Ca, Ca/P, WIN, and PFindex were 67.7% (128/189), 75.1% (142/189), 78.8% (149/189), 84.7% (160/189) and 80.4% (152/189), respectively; the specificities were 80.9% (55/68), 61.8% (42/68), 67.6% (46/68), 58.8% (40/68) and 66.2% (45/68), respectively; the accuracies were 71.2% (183/257), 71.6% (184/257), 75.9% (195/257), 77.8% (200/257) and 76.7% (197/257), respectively. ROC curve analysis showed that PFindex ($\text{AUC} = 0.844$) had the best diagnostic efficacy for primary PA (Z values: 2.04–3.56, all $P < 0.05$). **Conclusions** In diagnosing PA, serum PTH demonstrates high specificity, while WIN exhibits high sensitivity, and PFindex demonstrates optimal diagnostic efficacy. The combination of serum PTH, parathyroid function-related indices (WIN and PFindex) significantly enhances diagnostic value as preliminary screening tools when integrated with $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging.

【Key words】 Parathyroid neoplasms; Technetium Tc 99m sestamibi; Tomography, emission-computed, single-photon; Tomography, X-ray computed

Fund program: Jiangsu Provincial Natural Science Foundation (BK20230135); Nanjing Drum Tower Hospital Medical Center Cultivation Project (2022-YYZX-YY-03)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250905-00312

原发甲状旁腺功能亢进症 (primary hyperparathyroidism, PHPT) 是由 1 个或多个甲状旁腺腺瘤 (parathyroid adenoma, PA)、腺癌、增生等原因使甲状旁腺激素 (parathyroid hormone, PTH) 水平升高, 常伴随高钙血症等钙 (Ca) 磷 (P) 代谢紊乱的复杂综合征^[1]。约 80% 的患者由单发 PA 引起, 在某些研究中这一比例甚至高达 85%~90%, 少量的 PHPT 可能是由多发性腺瘤、甲状旁腺增生或甲状旁腺癌所致^[2]。临床常用血清 PTH、Ca 和 P 筛查 PHPT, 但该病早期发病隐匿, 易漏诊。随着体检血清 Ca、P 检测和骨质疏松患者 PTH 监测的增加, PHPT 检出率有所提升^[3]。2020 年, Guo 等^[4]提出采用甲状旁腺功能指数 (parathyroid function index, PFindex) 来诊断 PHPT, 该指数在区分血清 Ca 正常的 PHPT 与维生素 D 缺乏引起的继发甲状旁腺功能亢进症 (secondary hyperparathyroidism, SHPT) 方面具有出色的诊断能力, 有助于指导 PHPT 患者及时启动维生素 D 治疗或手术的决策过程。目前 PFindex 的相关文献发表较少, 本研究针对 PHPT 最常见的原发单发 PA, 探讨 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -甲氧基异丁基异腈 (methoxy-isobutylisonitrile, MIBI) SPECT/CT 显像与血清 PTH、Ca、P、甲状旁腺功能相关指数 [钙磷比 (Ca/P)、Wisconsin 指数 (Wisconsin index, WIN) 和 PFindex] 对原发 PA 的诊断价值。

资料与方法

1. 患者资料及分组。本研究为回顾性病例对照研究。选取 2019 年 10 月至 2024 年 4 月间, 南京大学

医学院附属鼓楼医院血清检测 PTH、Ca 或 P 结果异常, 疑似原发 PA 患者 257 例, 年龄 (52.5 ± 14.1) 岁, 男 75 例、女 182 例。患者均行 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像。

纳入标准 (全部符合方纳入): (1) 血清检测 PTH、Ca 或 P 结果出现异常, 临床疑似为原发 PA。(2) 行 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像。(3) 分组判定。腺瘤组 (满足以下任一条件): ① 显像结果呈阳性, 且 1 个月内接受外科手术, 术后经病理确诊为原发 PA; ② 甲状旁腺显像为阴性, 但因颈部占位接受手术, 术后病理确诊为原发 PA。非腺瘤组 (满足以下任一条件): ① 显像结果阳性, 在 1 个月内接受外科手术, 术后病理排除原发 PA; ② 显像结果阴性且未进行手术, 经过半年随访, 通过临床症状、实验室检查和其他影像学方法综合判断, 排除原发 PA。

排除标准: 剔除因维生素 D 缺乏或肾功能不全等导致的 SHPT 患者。本研究经南京大学医学院附属鼓楼医院伦理委员会审批通过 (批号: 2025-0697-01)。

2. 甲状旁腺 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像及图像判读。所有患者分别经静脉注射 555 MBq $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI (由南京森科医药技术有限公司提供), 采用美国 GE 公司 NM/CT670 ES SPECT/CT 仪显像。患者行 30 min 早期显像及 2 h 延迟显像。显像结果由核医学科高级职称医师 2 名共同审阅 (意见不一时由审核医师决定)。对原发 PA 进行定性及定位诊断。

3. 实验室检查及 PFindex 的计算。血清 PTH 采用德国 Siemens 公司化学发光仪 Atellica IM 及配套试剂检测, 血清 Ca、P 采用美国 Beckman Coulter 生

化分析系统及配套试剂检测,同步计算 Ca/P 、 WIN ($\text{Ca} \times \text{PTH}$) 和 PFindex ($\text{Ca} \times \text{PTH}/\text{P}$)。正常参考值范围:血清 PTH :1.96~9.33 pmol/L;血清 Ca :2.11~2.52 mmol/L;血清 P :0.85~1.45 mmol/L。

4.统计学处理。采用 IBM SPSS Statistic 27.0 软件进行数据分析。符合正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间两两比较采用两独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验;定性资料用频数(百分比)表示。以术后病理诊断为“金标准”,计算 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像以及血清 PTH 、 Ca 、 P 、 Ca/P 、 WIN 和 PFindex 诊断原发 PA 的诊断效能,并行 ROC 曲线分析和 Delong 检验进行比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义(双侧检验)。

结 果

1.一般资料的比较。257 例疑似原发 PA 患者中,腺瘤组 189 例,非腺瘤组 68 例;腺瘤组同非腺瘤组相比,年龄差异无统计学意义($t = 0.17, P = 0.865$);腺瘤组具有更高水平的血清 PTH 、 Ca 、 Ca/P 、 WIN 和 PFindex 及更低水平的血清 P (t 值:-6.16~3.18, Z 值:-8.42~-7.86, 均 $P < 0.05$)。具体见表 1。

2. $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像对原发 PA 的诊断效能。 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像诊断原发 PA 的灵敏度为 98.4% (186/189), 特异度为 88.2% (60/68), 准确性为 95.7% (246/257), 阳性预测值为 95.9% (186/194), 阴性预测值为 95.2% (60/63)。其中显像假阳性 8 例,假阴性 3 例。

3.多个指标的 ROC 曲线分析结果。在诊断原发 PA 的 ROC 曲线分析(图 1)中,血清 PTH 、 Ca 、 Ca/P 、 WIN 和 PFindex 的 AUC 分别为:0.821、0.727、0.777、0.834、0.844, PFindex 的 AUC 最高(Z 值:2.04~3.56, 均 $P < 0.05$), WIN 和血清 PTH 诊断效能也相对较高, Ca 和 Ca/P 的诊断效能相对较弱。上述指标界值分别为 18.265 pmol/L、2.665 mmol/L、2.912、37.224 mmol $\times$ pmol/L²、45.930 pmol/L。血清 P 的

ROC 曲线位于对角线下方,无意义。不同指标的诊断效能见表 2。

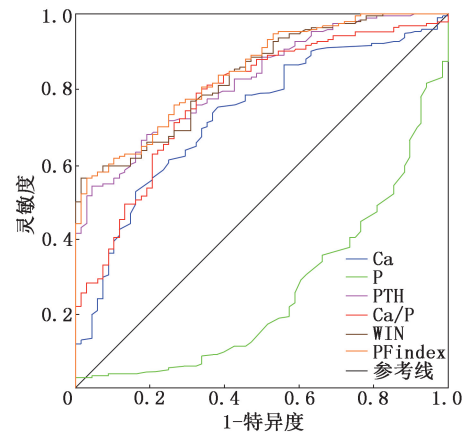


图 1 血清甲状旁腺激素(PTH)、钙(Ca)、磷(P)、钙磷比(Ca/P)、Wisconsin 指数(WIN; $\text{Ca} \times \text{PTH}$) 和甲状旁腺功能指数(PFindex; $\text{Ca} \times \text{PTH}/\text{P}$) 诊断原发甲状旁腺腺瘤的 ROC 曲线($n = 257$)

讨 论

PHPT 是一种 PTH 分泌过多而影响钙代谢的疾病,被认为是高钙血症最常见的原因^[4]。PHPT 的诊断一般依据临床表现、实验室检查及影像学检查的综合评估。近年来,随着体检血清 Ca 和 P 的检测、骨质疏松患者 PTH 监测的增加、甲状腺超声体检中发现甲状旁腺结节等原因,无症状 PHPT 检出率有所提高^[3]。对 PHPT 的早期诊断及尽早治疗亦很重要。生化、骨骼和肾脏体征都可用于诊断,但存在特异度不佳、灵敏度受限、滞后性明显等不足。

$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像对于甲状旁腺功能亢进的病灶有着较高的灵敏度和特异度。 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像早期可见显像剂浓聚影,2 h 延迟相显示浓聚未见明显消退,可据此进行定性诊断^[5];另外,其还能精准展现病灶大小、形态、密度、位置及毗邻关系等。既往研究表明,相较于超声, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 在术前甲状旁腺定位方面,灵敏度、准确性及解剖精准性上更优^[6]。在异位甲状旁腺瘤的诊断中,其优势更加显著。本研究中, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI

表 1 不同组别甲状旁腺病变患者一般资料的比较

组别	例数	年龄 (岁; $\bar{x} \pm s$)	PTH [pmol/L; $M(Q_1, Q_3)$]	Ca (mmol/L; $\bar{x} \pm s$)	P (mmol/L; $\bar{x} \pm s$)	Ca/P ($\bar{x} \pm s$)	WIN [mmol $\times$ pmol/L ² ; $M(Q_1, Q_3)$]	PFindex [pmol/L; $M(Q_1, Q_3)$]
非腺瘤组	68	52.8 $\pm$ 15.0	12.44(7.30, 17.84)	2.62 $\pm$ 0.27	0.99 $\pm$ 0.18	2.74 $\pm$ 0.67	32.29(17.71, 49.23)	34.45(15.36, 53.64)
腺瘤组	189	52.5 $\pm$ 13.8	24.50(16.36, 45.25)	2.89 $\pm$ 0.38	0.86 $\pm$ 0.34	3.68 $\pm$ 1.20	71.52(44.85, 136.67)	87.59(50.93, 183.77)
检验值		0.17 ^a	-7.86	-5.40 ^a	3.18 ^a	-6.16 ^a	-8.18	-8.42
P 值		0.865	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001

注:^a为 t 值,余检验值为 Z 值;PTH 为甲状旁腺激素, Ca/P 为钙(Ca)磷(P)比, WIN 为 Wisconsin 指数($\text{Ca} \times \text{PTH}$), PFindex 为甲状旁腺功能指数($\text{Ca} \times \text{PTH}/\text{P}$)

表 2 甲状旁腺相关指数对原发甲状旁腺腺瘤的诊断效能($n=257$)

指标	灵敏度	特异度	准确性	阳性预测值	阴性预测值
甲状旁腺激素(PTH)	67.7%(128/189)	80.9%(55/68)	71.2%(183/257)	90.8%(128/141)	47.4%(55/116)
钙(Ca)	75.1%(142/189)	61.8%(42/68)	71.6%(184/257)	84.5%(142/168)	47.2%(42/89)
钙磷比(Ca/P)	78.8%(149/189)	67.6%(46/68)	75.9%(195/257)	87.1%(149/171)	53.5%(46/86)
Wisconsin 指数(WIN)	84.7%(160/189)	58.8%(40/68)	77.8%(200/257)	85.1%(160/188)	58.0%(40/69)
甲状旁腺功能指数(PFindex)	80.4%(152/189)	66.2%(45/68)	76.7%(197/257)	86.9%(152/175)	54.9%(45/82)

注:括号中为例数比;WIN=Ca×PTH,PFindex=Ca×PTH/P

SPECT/CT 显像诊断原发 PA 的准确性达 95.7%,灵敏度达 98.4%,特异度为 88.2%,在辅助医师进行手术策略中发挥着重要作用。本研究中,甲状旁腺显像假阳性 8 例、假阴性 3 例。假阳性主要源于技术局限、疾病影像干扰及患者个体差异,假阴性则与病灶自身特征、技术参数设置和甲状旁腺解剖变异相关;后续可通过优化技术和联合多种检查手段提高诊断准确性。

本研究中,血清 PTH 诊断原发 PA 的特异度为 80.9%,能有效排除非原发患者,减少误诊;但灵敏度较低,为 67.7%;结合 71.2%的准确性及 0.821 的 AUC,可认为其整体诊断效能较高。血清 Ca 的灵敏度中等,AUC 为 0.727,可用于初步筛查;但其特异度较低,假阳性率较高。而血清 P 对原发 PA 没有诊断价值,但其对甲状旁腺功能亢进症的监测随访有意义^[3]。

Madeo 等^[7-8]在 2 个不同的研究中检测了 Ca/P,Ca/P 是鉴别 PHPT 和与 PHPT 无关的低磷血症的高准确性工具;当 Ca/P 高于 2.55 和低于 1.78 时,可分别用于鉴别 PHPT 和甲状旁腺功能减退。本研究中,Ca/P 的灵敏度高于血清 Ca 和 PTH,特异度水平中等,诊断效能较好,综合性能良好,但没有突出优势,对原发 PA 的筛查和初步诊断有一定价值,但单独使用时不够准确。

WIN 的主要价值是作为术前指数,辅助外科医师在甲状旁腺切除术中决定是否等待术中 PTH 结果,以及是否需行进一步颈部探查,而非 PHPT 的鉴别诊断。既往有研究评估了 WIN 在预测 PHPT 中单腺和多腺疾病方面的有效性,与术中 PTH 相比,其在预测多腺疾病方面表现欠佳^[9-10]。本研究中,WIN 诊断原发 PA 灵敏度最高,但特异度最低,考虑原因可能是忽略了磷酸盐止血的影响(因为磷酸盐止血可能通过影响血清 Ca 或 P 浓度的动态变化,导致 WIN 值偏离真实的甲状旁腺功能状态,进而造成对原发 PA 的误判)。本研究中 WIN 的 AUC 为 0.834,准确性较高,需要结合其他指标进一步诊断。WIN 对于原发 PA 具有较高的筛查效率,有助于提高疾病

的早期发现率。

Guo 等^[4]基于 WIN 和 Ca/P 的组合提出了 PFindex,并验证了其诊断 PHPT 的能力强于 Ca/P 和 WIN。后有研究者发现,PFindex 有助于区分 PHPT 患者和 SHPT 患者,灵敏度和特异度均超过 90%^[11]。在 PHPT 与维生素 D 缺乏伴 PTH 升高的患者中,PFindex 也表现出较好的鉴别能力。本研究未纳入 SHPT 患者,在原发 PA 的诊断价值方面,PFindex 的灵敏度为 80.4%,特异度为 66.2%,准确性为 76.7%,AUC 最大(0.844),DeLong 检验提示其诊断效能最好,能较好地平衡检测患者和排除非患者的能力,具有相当的临床应用价值。

本研究评价了血清 Ca、PTH、Ca/P、WIN、PFindex 对原发 PA 的诊断能力。其中,WIN 的灵敏度最高,血清 PTH 的特异度最高,PFindex 诊断效能最好。本研究得到血清 PTH 诊断原发 PA 的界值为 18.265 pmol/L(正常参考值范围 1.96~9.33 pmol/L),约为正常参考值上限的 2 倍,与临床实践中“血清 PTH 翻倍高度怀疑 PA”的判断标准一致,亦验证了界值设定的合理性。PFindex 的诊断效能较好,综合考虑了灵敏度和特异度,能够较好地地区分患病和未患病的人群。同时需注意,相关指数会受多方面影响:如血清 Ca 水平可能受饮食、运动等多种因素影响;血清 PTH 的分泌可能受多种生理和病理因素(如肾功能不全等)影响;Ca/P、WIN 和 PFindex 涉及多个指标综合计算,使其对非患病个体的区分能力下降,导致特异度降低。使用上述指数界值时,需综合考量。在实际应用中,可能需要结合多个指标及患者具体情况综合判断,以提高诊断的准确性。

综合来看,尽管血清 PTH 及甲状旁腺功能相关指数的灵敏度和特异度低于 SPECT/CT 显像,但其具有简便易行、成本低廉、可重复性强的优势,适用于大规模人群初筛及基层医疗机构的初步评估,辅助临床判断是否需要进一步的⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT 显像。而⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT 显像可对原发 PA 进行定性及定位诊断,诊断效能较高^[12],具有重要临床价值。本研究显示,在适合的界值下,血清

PTH 的特异度最高, WIN 的灵敏度最高, PFindex 的诊断效能最好, 可据其进行原发 PA 高风险的判断, 超过界值者需结合 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像定性定位诊断。综上, 血清 PTH 和甲状旁腺功能相关指数 WIN 和 PFindex 作为初筛指标联合 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像对原发 PA 的诊断具有重要临床价值。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 李茜: 研究实施、论文撰写; 沈紫薇、林夏雯: 数据分析、论文修改; 许守林: 数据采集; 冯雪凤: 研究指导

参 考 文 献

- [1] 谢亦驰, 孔维唯, 尤嘉熙, 等. 不同类型甲状旁腺功能亢进症术前 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 断层显像最佳时机探索[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(3): 159-163. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240527-00177.
- Xie YC, Kong WW, You JX, et al. Exploring the optimal timing of preoperative $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging in different types of hyperparathyroidism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 45(3): 159-163. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240527-00177.
- [2] Yang L, Jing X, Pang H, et al. Primary hyperparathyroidism: predictors of sporadic multi-gland disease[J]. Endocr Connect, 2024, 13(5): e230492. DOI: 10.1530/EC-23-0492.
- [3] 余艳龄, 皮艳, 周波. 简易指标在原发性甲状旁腺功能亢进症生化诊断中的价值研究进展[J]. 中国实用内科杂志, 2024, 44(8): 686-690. DOI: 10.19538/j.nk2024080116.
- Yu YL, Pi Y, Zhou B. Research progress in the value of simple indexes in the biochemical diagnosis of primary hyperparathyroidism[J]. Chin J Pract Intern Med, 2024, 44(8): 686-690. DOI: 10.19538/j.nk2024080116.
- [4] Guo Y, Wang Q, Lu C, et al. New parathyroid function index for the differentiation of primary and secondary hyperparathyroidism: a case-control study[J]. BMC Endocr Disord, 2020, 20(1): 5. DOI: 10.1186/s12902-019-0487-8.
- [5] Liu Y, Dang Y, Huo L, et al. Preoperative localization of adenomas in primary hyperparathyroidism: the value of ^{11}C -choline PET/CT in patients with negative or discordant findings on ultrasonography and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi SPECT/CT[J]. J Nucl Med, 2020, 61(4): 584-589. DOI: 10.2967/jnumed.119.233213.
- [6] 张莹莹, 韩娜, 武凤玉, 等. $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT 显像在原发性甲状旁腺功能亢进症术前诊断中的价值及影响因素[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(6): 345-349. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200408-00142.
- Zhang YY, Han N, Wu FY, et al. Value of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI SPECT/CT imaging in preoperative diagnosis of primary hyperparathyroidism and its influencing factors[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(6): 345-349. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200408-00142.
- [7] Madeo B, De Vincentis S, Kara E, et al. Reliability of calcium-phosphorus (Ca/P) ratio as a new, accurate and inexpensive tool in the diagnosis of some Ca-P disorders[J]. J Endocrinol Invest, 2019, 42(9): 1041-1049. DOI: 10.1007/s40618-019-01025-6.
- [8] Madeo B, De Vincentis S, Repaci A, et al. The calcium-to-phosphorus (Ca/P) ratio in the diagnosis of primary hyperparathyroidism and hypoparathyroidism: a multicentric study[J]. Endocrine, 2020, 68(3): 679-687. DOI: 10.1007/s12020-020-02276-7.
- [9] De Pasquale L, Lori E, Bulfamante AM, et al. Evaluation of Wisconsin and CaPTHUS indices usefulness for predicting monoglandular and multiglandular disease in patients with primary hyperparathyroidism through the analysis of a single-center experience[J]. Int J Endocrinol, 2021, 2021: 2040284. DOI: 10.1155/2021/2040284.
- [10] Serradilla-Martín M, Palomares-Cano A, Cantalejo-Díaz M, et al. Usefulness of the Wisconsin and CaPTHUS indices for predicting multiglandular disease in patients with primary hyperparathyroidism in a southern European population[J]. Gland Surg, 2021, 10(3): 861-869. DOI: 10.21037/gs-20-857.
- [11] Özkan MB, Turhan VB. Use of parathyroid function index and Wisconsin index to differentiate primary hyperparathyroidism from secondary hyperparathyroidism: a case-control study[J]. Cureus, 2022, 14(3): e23043. DOI: 10.7759/cureus.23043.
- [12] 陈则君, 邵清, 黄钱焕, 等. 基于 SPECT/CT 主动脉弓钙化体积与慢性肾脏病继发性甲状旁腺功能亢进术后骨饥饿综合征的关系[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(8): 488-492. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240710-00253.
- Chen ZJ, Shao Q, Huang QH, et al. Relation of aortic arch calcification volume measured by SPECT/CT with hungry bone syndrome in patients with renal secondary hyperparathyroidism after parathyroidectomy[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 45(8): 488-492. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240710-00253.

(收稿日期: 2025-09-05)