

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.13.007
文章编号: 1005-8982 (2025) 13-0039-08

综述

原发性甲状旁腺功能亢进症的 临床定位诊断进展*

陶浪¹, 杨先伟², 顾毅^{1,2}

(1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院
甲状腺外科, 四川 成都 610072)

摘要: 原发性甲状旁腺功能亢进症(PHPT)以高血钙和甲状旁腺激素水平超出正常范围为特征。时至今日, PHPT依然是导致门诊高钙血症的重要原因之一。最新的临床诊断进展大大提高了识别该内分泌疾病的准确性与效率。通过整合多种成像技术和生化指标, 诊断流程得到了加强。借助成像技术对甲状旁腺肿瘤进行术前定位的能力显著提升。术前的精准定位对于实现甲状旁腺病变的完全切除起到了重要作用。该综述深入探讨 PHPT 在临床诊断中的最新进展。

关键词: 原发性甲状旁腺功能亢进症; 定位; 临床现状; 成像技术; 诊断前景

中图分类号: R582.1

文献标识码: A

Advances in clinical localization diagnosis of primary hyperparathyroidism*

Tao Lang¹, Yang Xian-wei², Gu Yi^{1,2}

(1. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan
610054, China; 2. Department of Thyroid Surgery, Sichuan Academy of Medical Sciences and
Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: Primary hyperparathyroidism (PHPT), characterized by hypercalcemia and elevated parathyroid hormone (PTH) levels, remains a significant cause of outpatient hypercalcemia. Recent advances in clinical diagnostics have substantially enhanced the accuracy and efficiency of identifying this endocrine disorder. The diagnostic pathway has been optimized through synergistic integration of multiple imaging modalities and biochemical indicators. Preoperative tumor localization capability has been revolutionized by advanced imaging techniques, enabling precise surgical targeting. This review critically appraises contemporary progress in PHPT localization diagnostics.

Keywords: primary hyperparathyroidism; localization; clinical current status; imaging techniques; diagnostic prospects

原发性甲状旁腺功能亢进症(primary hyperparathyroidism, PHPT)是指由于甲状旁腺发生病变(如肿瘤或增生)引起甲状旁腺激素

(parathyroid hormone, PTH)大量合成与分泌,从而导致钙磷代谢异常,累及骨骼和泌尿系统的内分泌疾病。随着无症状 PHPT 检出率的逐年上升,精

收稿日期: 2025-03-11

* 基金项目: 国家自然科学基金(No: 82202548)

[通信作者] 顾毅, E-mail: medguyi@uestc.edu.cn

准定位功能亢进的甲状旁腺(hyperfunctional parathyroid glands, HPTG)组织已成为手术治疗成功的关键。传统影像技术,如超声(Ultrasound, US)、计算机断层扫描(computed tomography, CT)和磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI),由于甲状旁腺解剖位置变异及微小病灶(直径<1 cm)的检测难度较大,对其诊断存在显著波动。近年来,功能影像技术,如^{99m}锝-甲氧基异丁基异腈(technetium 99m-methoxyisobutylisonitrile, ^{99m}Tc-MIBI)单光子发射计算机断层显像/计算机断层扫描显像(single-photon emission computed tomography/computed tomography, SPECT/CT)和四维CT(4-dimensional computed tomography, 4D-CT),显著提高了病变定位的准确性。然而,在检查流程的选择上,各诊疗指南尚未达成共识。与此同时,新兴技术如正电子发射型计算机断层扫描-电子计算机断层显像(positron emission tomography/computerized tomography, PET/CT)、影像组学及术中导航系统的应用,正在推动定位诊断向多模态融合的方向发展。本文通过系统回顾PHPT定位诊断的技术发展历程和循证医学证据,深入分析影像学特征与病理生理机制的关系,并探讨各类技术的临床应用价值,旨在为个性化治疗方案的优化提供科学指导。

1 PHPT的流行病学与临床现状

PHPT的病理类型包括腺瘤、增生及癌变肿块,其中以甲状旁腺腺瘤最为常见,通常表现为单腺体病变。临床PHPT常见的症状与高钙血症密切相关,具体表现包括神经肌肉无力、持久的疲劳感、认知障碍、胃肠道问题(如恶心、便秘)及肾结石等肾脏并发症^[1]。在某些情况下,患者可能会出现更严重的症状,例如急性胰腺炎,这是一种罕见但与PHPT显著相关的疾病^[2]。长期的高钙水平还可能造成严重的骨骼健康问题,如骨质疏松症及骨折风险的增加,表明PHPT可能会对骨骼结构产生负面影响。在血钙水平正常的情况下,PHPT则主要表现为PTH水平升高,而血清总钙和离子钙水平保持正常,部分患者可能发展为高钙型PHPT^[3]。

PHPT的病理生理机制涉及复杂的基因突变、激素信号失调,以及由此引起的代谢紊乱之间的互动。该疾病的主要特征为甲状旁腺肿瘤分泌过多的PTH,引发高钙血症及一系列全身性反应,这些反应可能导致肾脏、骨骼及心血管等系统的并发症。因此,深入了解这些机制对于PHPT的有效管理及治疗显得尤为重要。PHPT的患病率约为0.5%,并且通常随着年龄的增长而逐渐增加^[1]。研究表明,PHPT患者的人口统计特征显示女性的发病率高于男性,且平均诊断年龄约为49岁^[1]。从流行病学角度来看,PHPT被认为是最常见的内分泌疾病之一,居糖尿病和甲状腺疾病之后的第三位。近年来,PHPT的发病率持续上升,可能与公众对骨质疏松症等相关疾病认知的提高,以及常规生化筛查(通常包括血清钙水平检测)的普及有关^[4]。在西方国家,PHPT的临床表现已发生显著变化,患者从以明显症状为主逐渐转变为以无症状为主,目前>90%的患者在确诊时不存在明显症状。这种趋势主要源于在常规健康评估过程中意外发现钙水平升高的情况^[4-5]。

2 PHPT的临床诊断进展

PHPT的诊断通常依赖于综合的临床评估,并辅以实验室检查,结果显示血清钙和PTH水平的升高。此外,在考虑进行手术治疗时,影像学研究也被用于定位甲状旁腺病变^[1]。有症状的PHPT治疗主要为手术干预,特别是甲状旁腺切除术,已被证明可以有效缓解症状并帮助恢复正常的钙水平^[6]。

近年来,PHPT的诊断取得了显著进展,主要归因于成像技术的提升及对该疾病病理生理学的深入理解。多种成像技术的应用极大地增强了术前对甲状旁腺腺瘤的定位能力,其中US和^{99m}Tc-MIBI显像是最为常用的手段。US因其具有高敏感性和特异性,能够有效评估甲状旁腺的数量、大小及其回声特性,同时也可识别异位腺体^[7]。成像技术的敏感性一直是诊断过程中备受关注的关键因素。研究表明,US与^{99m}Tc-MIBI显像的结合使用,可以在相当多的患者中成功定位HPTG^[8]。此外,SPECT/CT成像技术被证实是一种强有力的工具,

在检测异常甲状旁腺病变方面表现出最高的阳性率,特别是在 PHPT 患者中^[9]。除了影像学的进步,术中 PTH 的监测整合也标志着手术方法的显著变化^[10]。近年来,4D-CT 的应用备受关注,因其显著提升了甲状旁腺腺瘤的可视化效果,并有效改善了手术计划的制订。研究显示,4D-CT 在不同成像阶段的对比增强模式中,能够有效区分甲状旁腺与甲状腺组织,从而帮助准确识别腺瘤,即便是在异位位置^[11]。相较于传统的成像方法,4D-CT 展现了更高的敏感性与特异性,成为 PHPT 诊断中的重要补充工具^[11]。研究表明,放射性核素显像在术前甲状旁腺的定位诊断中发挥着至关重要的作用^[12]。此外,PHPT 的临床表现已得到更好的表征,常见的症状包括肌肉和骨骼疼痛、肾结石及胃肠道功能紊乱。对这些临床表现的深入了解,有助于在早期阶段识别和诊断该病症^[1]。随着持续的研究与技术创新,未来将进一步增强对内分泌疾病的诊断能力与管理效果。

2.1 放射学检查

2.1.1 US 检查 US 检查已经成为评估和治疗 PHPT 不可或缺的重要诊断手段^[13]。这种成像技术因其非侵入性、经济、高效且无电离辐射的特性,受到众多临床医生的青睐。特别是在诊断甲状旁腺腺瘤的过程中,US 检查显示出其显著的优势。US 可以提供实时成像,能够对甲状旁腺进行动态评估,这对于有效区分甲状旁腺腺瘤与甲状腺结节尤为重要。高频 US 的应用进一步增强了对甲状旁腺的可视化效果,提高了定位的准确性。相关研究表明,经验丰富的医师操作时,US 检查对甲状旁腺腺瘤的检测敏感性可高达 94.6%^[14-15]。此外,利用剪切波弹性成像与三维成像等先进 US 技术的结合,增强了 US 的诊断能力。这些技术不仅提供了关于病变硬度的信息,还显示了血管分布,从而为良性与恶性疾病的区分提供了重要依据。例如,相较于周围的甲状腺组织,甲状旁腺腺瘤通常展现出较低的剪切波速度,这一特征可能有助于提高诊断的准确性^[16]。研究发现,当 US 结果与其他成像方法(如 MIBI 显像)结合使用时,其整体定位精准度可 >90%,显著改善手术效果^[14-15]。此外,对于合并有甲状腺疾病的患者,US 检查尤为有利。

在甲状腺炎或结节性甲状腺肿的情况下,MIBI 显像的敏感性可能下降,而 US 检查仍能够保持良好的诊断效果^[7,17]。这使得 US 成为对 PHPT 患者进行全面评估的重要工具,特别是在含多种病理的复杂病例中。

常规 US 技术能够清晰地显示病变的多种特征,包括病变的大小、数量、位置、形态及血流特征。其中,超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)技术能够实时监测病灶的血流灌注和清除情况;弹性成像可以反映组织的硬度和柔软度;而融合成像提供了病灶的功能相关信息^[18]。目前,甲状旁腺常规 US 检查已成为临床进行甲状旁腺病变术前定位的重要手段,其敏感性和准确度相对较高且费用较低。然而,对于多腺体病变、小病变或位置较深的结节,以及合并甲状腺病变的患者,CEUS 的敏感性和准确度明显优于常规 US。因此,在考虑经济和技术因素的前提下,对于常规 US 能够明确定位病变的患者,并不建议常规使用 CEUS 进行甲状旁腺术前定位检查。同时,CEUS 在临床应用中也存在一些限制。首先,对于异常解剖位置的甲状旁腺病变,CEUS 的检出能力受到明显限制,尤其是在发现异位至纵隔的病灶方面。其次,CEUS 无法提供更为详尽的解剖学信息,如甲状旁腺肿瘤与周边组织之间的关系。此外,CEUS 操作需要经验丰富的医师进行。该技术对设备的要求也较高,必须使用具备相位反转原理的 US 设备,并且需将机械指数设置为较低,以防止在高机械指数下对微气泡造成破坏。综上所述,US 检查代表了 PHPT 诊断方法的一项重大进步。其非侵入性、高灵敏度及提供实时成像的能力,使其成为该疾病患者进行诊断与术前评估的重要工具。

2.1.2 CT 检查 CT 显著推进了 PHPT 的诊断过程,尤其是在传统成像技术未能提供明确结论的情况下。CT 作为一种非侵入性的成像方法,能够有效地识别和定位异常的甲状旁腺,比如位于前纵隔或气管食管沟内的异位甲状旁腺。此外,CT 检查能够辅助进行穿刺活检,与 US 检查相比,CT 检查的结果受主观因素的影响相对较小。然而,CT 检查的缺点包括高成本和放射性风险。在增强扫描时,CT 扫描的成功程度依赖于甲状旁腺的血

供情况。值得注意的是,紧邻甲状腺的小型甲状旁腺可能会被遗漏,同时淋巴结、曲张的血管或食管憩室也有可能被误诊为甲状旁腺腺瘤。

CT 成像,尤其是 4D-CT,已成为 PHPT 患者术前评估的重要工具。这种成像技术能够提供详尽的解剖和功能信息,对于识别 HPTG 而言至关重要。在临床使用中,发现 4D-CT 的不同增强模式能够有效帮助区分 PHPT 病灶、甲状腺实质及颈部淋巴结的病变。4D-CT 检查可以同时获取异常甲状旁腺的解剖结构和生理状态的信息。此外,4D-CT 对于隐匿性甲状旁腺肿瘤的诊断和术前定位也可能发挥重要作用。现有的 4D-CT 多腺体疾病评分系统通过分析术前甲状旁腺 CT 图像,依据病灶的体积和最大直径来区分单腺体疾病和多腺体疾病^[19-20],并帮助确定需要切除的特定腺体,从而为成功实施甲状旁腺切除术提供支持。这些研究结果还能够帮助识别出需要进行双侧颈部全面探查的患者,从而对改善接受术前甲状旁腺 CT 检查的 PHPT 患者的手术方案具有重要的意义^[21]。

研究表明,4D-CT 技术在定位孤立性 HPTG 方面的成功率达到了 84%。这一成就使得手术策略得以从以往的双侧颈部探查调整为更具针对性的单侧手术,并与较低的并发症发生率及更短的恢复时间密切相关^[22]。此外,将 CT 与术中全段 PTH 监测结合使用,进一步提升了手术的效果。外科医生通过使用全段 PTH 水平来确认功能亢进腺体的成功切除,能够最大限度地缩小手术范围,从而有效降低患者的发病率^[22-23]。尽管 CT 技术具备多项优势,但其局限性也需要引起重视。例如,CT 的特异性可能存在差异,当甲状旁腺腺瘤与其他颈部肿块的成像特征出现重叠时,可能会导致假阳性的结果^[24]。因此,尽管 CT 在 PHPT 的诊断中扮演着重要角色,其通常需要与其他影像学方法结合使用,以提高诊断的准确性和手术计划的有效性。总体而言,CT 技术在 PHPT 的诊断进展中不断依赖于 4D-CT 等先进影像技术的发展,这些技术以其高敏感性和特异性为定位甲状旁腺腺瘤提供了重要支持。在涉及异位或多腺体疾病等复杂病例时,准确识别腺体的能力对于成功的手术干预尤为关键。随着影像技术的持续进步,CT 在 PHPT 治

疗中的应用前景将进一步拓宽,有望不断提升患者的治疗效果。

2.1.3 MRI 数据分析结果显示,相较于 US 和 ^{99m}Tc-MIBI 的敏感性(76.2% 和 71.4%),MRI 的敏感性更高,达到了 90.5%^[25]。单独使用 MRI 时的敏感性与联合使用 US 和 ^{99m}Tc-MIBI 时的敏感性相当。MRI 与 US 或 ^{99m}Tc-MIBI 的联合使用所展现出的敏感性,明显高于单独采用任何一种技术,这表明 MRI 在术前影像评估中可能发挥重要的辅助作用。如果初步成像结果存在不确定性,或者 HPT 反复出现,或有相关的手术史,CT 和 MRI 可以作为二线成像技术。与其他技术相比,这些横断面成像方法结合了 MRI 的优势,具有高软组织分辨率且不涉及辐射。MRI 在成像方面的优势体现在其图像清晰、软组织对比度高、层次分明,并且没有电离辐射、放射性损害及骨伪影等问题,能够进行多方位和多参数的成像。此外,MRI 还具备血管流空效应,能够较好地地区分病变与血管,从而在鉴别甲状腺内异位方面表现出独特的优势。

其中一个显著的进展是四维 MRI (4-dimensional MRI, 4D-MRI) 技术的快速发展,该技术具备动态成像的能力,显著增强了对甲状旁腺的可视化效果^[26]。研究表明,4D-MRI 可以以 92% 的准确率识别单腺腺瘤病例,并能够正确定位 85% 单腺疾病患者腺瘤所在的象限。这一高精度度的成像技术对于手术计划至关重要,因为其使得医生能够实施更为精准且微创的甲状旁腺切除术,从而有效降低与传统双侧颈部探查相关的并发症风险^[27]。此外,动态增强 MRI 技术的应用也展现出优异效果,特别是在之前接受过甲状旁腺手术的患者中。如果传统的成像技术结果呈现阴性或不一致时,动态增强 MRI 则可以提供有价值的补充成像方式。值得注意的是,4D-MRI 在成像过程中不会使颈部暴露于电离辐射,因此应考虑将其作为 4D-CT 的替代方案,用于 PHPT 患者的一线检查,尤其适用于面临辐射致癌风险的年轻患者^[28]。除此之外,动态增强 MRI 在评估甲状旁腺腺瘤血管特征方面的能力也受到重视。动态增强 MRI 能够充分利用这些病变的丰富血管特性,从而与周围的组织(如甲状腺和淋巴结)有效区分开来,这

种分辨能力对于手术的精确定位和计划至关重要,有助于避免不必要的非目标组织探查^[29]。总体而言,MRI技术的进步,特别是4D成像和动态对比增强技术的引入,显著提高了PHPT的诊断准确性。这些技术创新不仅增强了甲状旁腺腺瘤的定位能力,同时也促进了更为有效的手术干预,最终带来更好的治疗效果。

随着研究的深入,MRI在PHPT治疗中的作用日益凸显,成为临床医生进行准确诊断和制订治疗计划的重要工具。可以说,将先进的MRI技术融入PHPT的诊断流程中,标志着诊断技术的一次重要进步。与传统成像方式相比,MRI在敏感性、特异性及整体诊断能力上都大幅提升。这一技术的进展对优化手术效果及提升这一常见内分泌疾病患者的整体护理质量具有重要意义。

2.2 核医学成像

2.2.1 ^{99m}Tc -MIBI 甲状旁腺显像技术可通过MIBI的双期成像方法进行,而不仅仅依赖于减影成像。这种技术能够基于放射性药物在体内的吸收特性,有效地区分正常与功能亢进的甲状旁腺组织。尽管MIBI显像技术具有许多优点,但其局限性也不容忽视,可能会导致假阳性和假阴性的检测结果。某些类型的甲状腺硬结节(如Hurthle嗜酸性腺瘤结节)、甲状腺癌组织、转移病灶、淋巴结病灶、结节病及棕色脂肪的聚集,均可能导致假阳性结果的出现。在多腺体疾病或较小病变时,MIBI显像的敏感性可能降低,这进一步增加了假阴性结果的风险。此外,甲状腺结节的存在可能使MIBI扫描的解读变得更加复杂,因此需要结合临床结果来仔细评估影像学结果。 ^{99m}Tc -MIBI是目前应用最广泛的甲状旁腺显像示踪剂。总体而言,MIBI在PHPT中的应用进展,显著推动了准确定位甲状旁腺腺瘤的成像技术的发展。

2.2.2 PET/CT PET/CT在PHPT的诊断中显示出显著的优势,已获得广泛的认可。其不仅能精确定位甲状旁腺的病变,还展现出对甲状旁腺腺瘤的高敏感性,超越了传统的CT、MRI、US与SPECT等检查方法。对于PHPT患者而言,常见的骨骼改变包括骨质疏松、骨膜下骨皮质吸收、软骨下骨吸收、局限性囊状骨质破坏(纤维囊性胃炎或棕色瘤)、骨质软化及关节软骨钙化等。而

PET/CT中的CT扫描技术能够有效识别这些骨质的异常变化。此外,PHPT患者还可能频繁出现双肾结石,进行全身扫描的PET/CT在发现相关症状方面更加便利。在甲状旁腺腺瘤切除术后,PET/CT扫描还可用于监测患者体内棕色瘤中成骨细胞的变化情况。

历史上,检测甲状旁腺组织功能亢进的标准成像技术主要包括 ^{99m}Tc -MIBI显像和US。然而,这些方法的有效性可能存在差异,尤其在多腺体疾病或较小的病变出现时,这些小病变往往难以被发现^[30]。近年来,核医学成像领域的进展引入了新的PET示踪剂,比如 ^{18}F -氟胆碱(^{18}F -fluorocholine, ^{18}F -FCH)和 ^{18}F -脱氧葡萄糖(^{18}F -fluorodeoxyglucose, ^{18}F -FDG),这些新型示踪剂显示出在提高HPTG的检出率方面的良好潜力。相比传统成像手段,这些新技术在敏感性和特异性方面表现更为出色。这些先进成像技术的结合,让临床医师能更精准地定位甲状旁腺腺瘤。例如,数字PET/CT系统的使用显示出相较于模拟系统有显著的性能优势,特别是在识别亚厘米大小的病变时,而传统成像方法往往会漏掉这些小病变^[31]。这种能力的提升是至关重要的,因为较小的腺瘤定位通常更具挑战性,若术前未能明确发现,可能需要采取更为侵入性的手术方案。此外,欧洲核医学与分子影像协会(European Association of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, EANM)近期更新的指南也反映了影像技术的进步,强调了术前定位研究在PHPT治疗中的重要性^[32]。该指南提倡采用多模态的方法,结合多种成像技术以提升诊断的准确性和手术结果。 ^{99m}Tc -MIBI显像与US和更新的PET技术相结合,已被证明能够显著提高对HPTG的检测灵敏度,部分研究报告显示组合成像设备的敏感性高达94%^[33]。除了提高检出率外,核医学成像的进步也促进了微创手术技术的发展。

通过对术前定位的准确把握,外科医生能够实施精确的甲状旁腺切除术。与传统的双侧颈部探查相比,这可以降低发病率并缩短恢复时间^[34]。支持这种微创手术转变的证据表明,由经验丰富的外科医生对术前影像进行仔细审查,可以有效增加符合手术条件的患者数量,而不会影响治愈

率^[35]。综上所述,新型 PET 示踪剂的应用和成像方案的优化,标志着在核医学成像诊断 PHPT 方面取得了重要进展。这些进步显著提升了对甲状旁腺的精准定位能力,进而改善了手术效果并降低了对侵入性手术的需求。随着成像技术的持续进步,未来甲状旁腺手术的诊断准确性和患者管理水平有望进一步提升。

2.3 侵入性检查技术

近年来,PHPT 的诊断手段取得了显著的进展,尤其是在侵入性检测技术方面取得了重要成果。传统的定位方法已逐渐被更为先进的技术所替代,其中包括选择性静脉采样(selective venous sampling, SVS)和动脉造影等。这些新兴技术在提高诊断准确性方面展现出显著的成效。SVS 技术的引入是其中一项关键的进步,该技术已被证明能够在大量病例中有效地定位甲状旁腺肿瘤。在一项涉及 94 例患者的研究中,SVS 成功地以 82% 的准确率定位肿瘤,成为在无创成像无法提供明确结果时的一个极具价值的辅助工具^[36]。然而,SVS 的应用也面临一些技术挑战,其成功实施依赖

于经验丰富的放射科医生,同时这一检查的费用较高,并且患者还需承受一定的放射性接触风险。

动脉造影在侵入性定位方法中也发挥了重要作用。在同一项研究中,动脉造影在 50% 的病例中成功地准确定位肿瘤,而低钙刺激法(用于评估 PTH 水平对钙输注的反应)则表现出更高的定位准确度,达到 60%^[36]。这类侵入性技术对于持续性或复发性 PHPT 的患者尤为重要,因为传统的成像方法往往难以满足这些患者的需求。此外,术中技术的引入进一步增强了 PHPT 的手术治疗效果。术中快速全段 PTH 测量被用来确认手术中是否成功切除 HPTG 组织,研究表明这一方法具有很高的敏感性和特异性,当与术中伽玛探针测量结合使用时,准确率可高达 99.2%^[37]。综上所述,针对 PHPT 的侵入性检测技术的进步,包括选择性静脉取样、动脉造影和术中技术,显著改善了诊断效果。这些方法不仅提高了肿瘤定位的准确性,还促进了更为有效的手术干预,最终为患者带来了更好的治疗结果。

综上所述,各影像学检查的敏感性、特异性、临床适用性及局限性在 PHPT 中的对比见表 1。

表 1 各影像学检查在 PHPT 中的对比

影像学检查	敏感性	特异性	临床适用性	临床局限性
US 检查	60% ~ 85%	85% ~ 95%	一线筛查、术前解剖定位、合并甲状腺疾病评估、特殊人群如妊娠期、肾功能不全等患者的评估。	依赖操作者经验;异位腺体检出率低;肥胖或颈部瘢痕患者图像质量不佳。
CEUS	75% ~ 90%	90% ~ 95%	腺瘤与甲状腺结节的灌注特征鉴别、微小腺体(<5 mm)的微血管显像。	对微腺瘤(<5 mm)敏感性局限;需排除对比剂禁忌;设备及技术要求较高。
CT	50% ~ 70%	70% ~ 85%	颈部占位性病变的初步鉴别,异位腺体(纵隔/胸骨后)定位。	辐射暴露;对功能性腺体特异性低;软组织对比度差。
4D-CT	75% ~ 90%	80% ~ 95%	异位腺体定位、多腺体病变的解剖-功能联合成像、术后持续性或复发性 PHPT 的定位评估。	高辐射剂量;需对比剂增强;肾功能不全患者禁忌;费用较高。
MRI	60% ~ 80%	80% ~ 90%	辐射敏感人群(如妊娠期、儿童)的解剖成像、纵隔腺体的软组织分辨率优化评估、与 US/MIBI 联合提高定位准确性。	检查时间长;费用高;对钙化显示不佳。
4D-MRI	70% ~ 85%	85% ~ 95%	动态灌注成像辅助腺体功能评估、复杂异位腺体的高分辨率定位。	设备普及率低;技术参数标准化不足;需钆对比剂(肾源性系统性纤维化风险);检查时间较长。
^{99m} Tc-MIBI 显像	70% ~ 90%	80% ~ 90%	功能性腺瘤的代谢活性评估、多腺体增生或异位腺体的全身筛查、SPECT/CT 融合成像提高空间分辨率;多发性内分泌肿瘤综合征相关多腺体疾病筛查。	假阳性(如甲状腺结节、淋巴结);双时相耗时较长;对微小腺体敏感性不佳。
PET/CT (如 ¹⁸ F-FCH 和 ¹⁸ F-FDG)	50% ~ 80%	85% ~ 95%	生化确诊但常规影像学阴性的 PHPT、甲状旁腺瘤的代谢显像评估、术后复发伴 PTH 持续升高的疑难病例、全身筛查、二次手术患者。	费用昂贵;示踪剂供应受限;对非胆碱高代谢腺体敏感性低。

3 小结与展望

展望未来, PHPT 的诊断进展前景广阔。新型成像技术的持续研究, 如 ^{18}F -FCH PET/CT, 可能在传统成像手段无法检测到异常甲状旁腺组织时展现出更优异的性能^[38]。此外, 深入探讨相关基因突变以及开发可行的分子病理标志物, 有望提高对甲状旁腺瘤和非典型腺瘤的诊断及治疗方案的准确性^[39]。总结而言, 虽然在 PHPT 的诊断与治疗领域已经取得了显著进展, 但持续的研究和技术革新对于进一步完善诊断标准和改善患者预后十分重要。特别是加强对成像技术的应用、深入了解甲状旁腺疾病的遗传机制及优化手术技术, 将是解决当前甲状旁腺功能亢进相关挑战的关键。整体来看, 影像技术、生化评估和基因检测的进步已显著提高了 PHPT 的临床诊断能力, 这不仅有助于更准确地定位甲状旁腺病变, 还增强了对潜在病理生理机制的理解, 从而促进了患者管理与结果的改善。随着研究的不断深入, 预计未来的诊断策略将进一步优化, 以提升对这一常见内分泌疾病患者的诊疗质量。

参 考 文 献 :

- [1] AL-THANI H, EL-MATBOULY M, AL-SULAITI M, et al. Management and outcomes of hyperparathyroidism: a case series from a single institution over two decades[J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2018, 14: 1337-1345.
- [2] DIALLO I, FALL C A, NDIAYE B, et al. Primary hyperparathyroidism and pancreatitis: a rare association with multiple facets[J]. *Int Sch Res Notices*, 2016, 2016: 7294274.
- [3] SHAKER J L, WERMERS R A. The eucalcemic patient with elevated parathyroid hormone levels[J]. *J Endocr Soc*, 2023, 7(4): bvad013.
- [4] ARESTA C, PASSERI E, CORBETTA S. Symptomatic hypercalcemia in patients with primary hyperparathyroidism is associated with severity of disease, polypharmacy, and comorbidity[J]. *Int J Endocrinol*, 2019, 2019: 7617254.
- [5] SAHSAMANIS G, GKOUZIS K, SAMARAS S, et al. Surgical management of a giant parathyroid adenoma through minimal invasive parathyroidectomy. A case report[J]. *Int J Surg Case Rep*, 2017, 31: 262-265.
- [6] KITADA M, YASUDA S, NANA T, et al. Surgical treatment for mediastinal parathyroid adenoma causing primary hyperparathyroidism[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2016, 11: 44.
- [7] BLANCO-SAIZ I, GOÑI-GIRONÉS E, RIBELLES-SEGURA M J, et al. Preoperative parathyroid localization. Relevance of MIBI SPECT-CT in adverse scenarios[J]. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*, 2023, 70 Suppl 2: 35-44.
- [8] FENG L, ZHANG X, LIU S T. Surgical treatment of primary hyperparathyroidism due to parathyroid tumor: a 15-year experience[J]. *Oncol Lett*, 2016, 12(3): 1989-1993.
- [9] LEE S H, SHIN E, HA S, et al. Is dual-phase SPECT/CT with $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi better than single-phase SPECT/CT for lesion localization in patients with hyperparathyroidism? [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(19): e19989.
- [10] DREAM S, LINDEMAN B, CHEN H. Prevalence of thymic parathyroids in primary hyperparathyroidism during radioguided parathyroidectomy[J]. *Clin Med Insights Endocrinol Diabetes*, 2019, 12: 1179551419869917.
- [11] WAZZAN M. Absolute and relative washout rates associated with parathyroid adenoma[J]. *Cureus*, 2023, 15(11): e48947.
- [12] USLU-BEŞLI L, SONMEZOGLU K, TEKSOZ S, et al. Performance of F-18 fluorocholine PET/CT for detection of hyperfunctioning parathyroid tissue in patients with elevated parathyroid hormone levels and negative or discrepant results in conventional imaging[J]. *Korean J Radiol*, 2020, 21(2): 236-247.
- [13] 樊海悦, 田文青, 周波. 原发性甲状旁腺功能亢进症定位诊断[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2018, 11(2): 215-219.
- [14] ABD ELHAMEED ELSAYED W, ALI R A. Efficacy of scintigraphy, ultrasound and both scintigraphy and ultrasonography in preoperative detection and localization of primary hyperparathyroidism[J]. *Cureus*, 2019, 11(6): e4960.
- [15] MICHAELSEN S H, BAY M, GERKE O, et al. Evaluation of surgeon-performed ultrasonography with or without contrast enhancement vs scintigraphy in patients with primary hyperparathyroidism[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2023, 149(6): 531-539.
- [16] AZIZI G, MAYO M L, KELLER J, et al. Diagnosis of parathyroid adenomas with new ultrasound imaging modalities[J]. *VideoEndocrinology*, 2019, 6(4): ve.2019.0163.
- [17] BECK A C, KASHYAP A K, LAL G, et al. Discordant findings on preoperative imaging for primary hyperparathyroidism and thyroid disease: choosing the path to follow[J]. *Surgery*, 2019, 166(4): 678-685.
- [18] PARRA RAMÍREZ P, SANTIAGO HERNANDO A, BARQUIEL ALCALÁ B, et al. Potential utility of contrast-enhanced ultrasound in the preoperative evaluation of primary hyperparathyroidism[J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38(10): 2565-2571.
- [19] SEPAHDARI A R, BAHL M, HARARI A, et al. Predictors of multigland disease in primary hyperparathyroidism: a scoring system with 4D-CT imaging and biochemical markers[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36(5): 987-992.
- [20] SHO S, YILMA M, YEH M W, et al. Prospective validation of two 4D-CT-based scoring systems for prediction of multigland disease in primary hyperparathyroidism[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2016, 37(12): 2323-2327.

- [21] BUNCH P M, GOYAL A, VALENZUELA C D, et al. Parathyroid 4D CT in primary hyperparathyroidism: exploration of size measurements for identifying multigland disease and guiding biochemically successful parathyroidectomy[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2022, 218(5): 888-897.
- [22] LUNDSTROEM A K, TROLLE W, SOERENSEN C H, et al. Preoperative localization of hyperfunctioning parathyroid glands with 4D-CT[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2016, 273(5): 1253-1259.
- [23] ACAR N, HACIYANLI M, COSKUN M, et al. Diagnostic value of four-dimensional computed tomography and four-dimensional magnetic resonance imaging in primary hyperparathyroidism when first-line imaging was inadequate[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2020, 102(4): 294-299.
- [24] MERDAD M, MOGHARBEL A M, ALQURASHI Y, et al. Accuracy of four-dimensional computed tomography and different imaging modalities in primary hyperparathyroidism[J]. *Cureus*, 2023, 15(12): e50423.
- [25] OZTURK M, POLAT A V, CELENK C, et al. The diagnostic value of 4D MRI at 3T for the localization of parathyroid adenomas[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 112: 207-213.
- [26] MERCHAVY S, LUCKMAN J, GUINDY M, et al. 4D MRI for the localization of parathyroid adenoma: a novel method in evolution[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2016, 154(3): 446-448.
- [27] MEMEH K O, PALACIOS J E, KHAN R, et al. Pre-operative localization of parathyroid adenoma: performance of 4D MRI parathyroid protocol[J]. *Endocr Pract*, 2019, 25(4): 361-365.
- [28] BECKER J L, PATEL V, JOHNSON K J, et al. 4D-dynamic contrast-enhanced MRI for preoperative localization in patients with primary hyperparathyroidism[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2020, 41(3): 522-528.
- [29] HOANG T D, JANI A G, MAI V Q, et al. Associations of serum ionized calcium, phosphate, and PTH levels with parathyroid scan in primary hyperparathyroidism[J]. *Endocr Pract*, 2019, 25(1): 16-22.
- [30] BERGERET S, CHARBIT J, ANSQUER C, et al. Novel PET tracers: added value for endocrine disorders[J]. *Endocrine*, 2019, 64(1): 14-30.
- [31] REILLY D J, CHEW G L, ECKHAUS J, et al. Outcomes for minimally invasive parathyroidectomy: widening inclusion criteria based on preoperative imaging results[J]. *ANZ J Surg*, 2016, 86(9): 701-705.
- [32] PETRANOVIĆ OVČARIČEK P, GIOVANELLA L, HINDIE E, et al. An essential practice summary of the new EANM guidelines for parathyroid imaging[J]. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 66(2): 93-103.
- [33] MINISOLA S, CIPRIANI C, DIACINTI D, et al. Imaging of the parathyroid glands in primary hyperparathyroidism[J]. *Eur J Endocrinol*, 2016, 174(1): D1-D8.
- [34] DUDOIGNON D, DELBOT T, COTTEREAU A S, et al. 18F-fluorocholine PET/CT and conventional imaging in primary hyperparathyroidism[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2022, 103(5): 258-265.
- [35] VESTERGAARD S, GERKE O, BAY M, et al. Head-to-head comparison of Tc-99m-sestamibi SPECT/CT and C-11-L-Methionin PET/CT in parathyroid scanning before operation for primary hyperparathyroidism[J]. *Mol Imaging Biol*, 2023, 25(4): 720-726.
- [36] GRAF A, COCHRAN C, SADOWSKI S, et al. Invasive testing for preoperative localization of parathyroid tumors[J]. *J Endocr Soc*, 2023, 8(1): bvad158.
- [37] ONER M, HACIM N A. Is confirmation of parathyroid tissue by frozen section superior to localization of solitary parathyroid adenoma using intraoperative gamma probe survey? A retrospective cohort study[J]. *Acta Endocrinol (Buchar)*, 2022, 18(4): 452-457.
- [38] REID L, MUTHUKRISHNAN B, PATEL D, et al. Presentation, diagnostic assessment and surgical outcomes in primary hyperparathyroidism: a single centre's experience[J]. *Endocr Connect*, 2018, 7(10): 1105-1115.
- [39] FENG C Z, TIAN C W, HUANG L Y, et al. A bibliometric analysis of the landscape of parathyroid carcinoma research based on the PubMed (2000-2021)[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 824201.

(张西倩 编辑)

本文引用格式: 陶浪, 杨先伟, 顾毅. 原发性甲状旁腺功能亢进症的临床定位诊断进展[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(13): 39-46.

Cite this article as: TAO L, YANG X W, GU Y. Advances in clinical localization diagnosis of primary hyperparathyroidism[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2025, 35(13): 39-46.