· 临床研究 ·

⁹⁹Tc^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

张莹莹 韩娜 武凤玉 李娇 卢承慧 刘新峰 王国强 王增华 王叙馥 青岛大学附属医院核医学科 266003 通信作者:王叙馥, Email: wangxufu@sina.com

目的 探讨⁹⁹Tc^m-甲氧基异丁基异腈(MIBI)平面显像及 SPECT/CT 融合显像对原发 性甲状旁腺功能亢进症(PHPT)的术前诊断价值,并分析影响显像结果的相关因素。方法 分析 2016 年 6 月至 2019 年 9 月期间青岛大学附属医院经手术病理证实的 PHPT 患者 62 例(男 15 例, 女 47 例, 年龄 27~80 岁)。采用 X^2 检验比较平面显像、融合显像的诊断效能, 采用两独立样本 t 检验 和 Mann-Whitney U 检验比较平面显像阳性组及阴性组术前血清甲状旁腺激素(PTH)水平、血钙水平 及术后病灶最大径的差异。在平面显像阳性病例中应用感兴趣区(ROI)技术测量并计算早期相及 延迟相病灶与正常组织的摄取比值(T/Ne、T/Nd),并采用 Pearson 相关及 Spearman 秩相关分析其与 血清 PTH、血钙水平及术后病灶最大径的相关性。分别建立血清 PTH、血钙与平面显像阳性关系的 受试者工作特征(ROC)曲线,确定最佳临界值。结果 62 例 PHPT 患者平面显像灵敏度 69.35% (43/62),融合显像灵敏度 87.10% (54/62),融合显像灵敏度高于平面显像 $(X^2 = 5.729, P = 0.017)$ 。 平面显像阳性患者较阴性患者有较高的术前血清 PTH[253.32(107.00,331.70)和(111.86±44.29) ng/L; z=-2.802,P=0.005] 及血钙水平[2.78(2.51,2.87)和(2.59±0.21) mmol/L;z=-1.978,P=0.048],且前 者术后病灶最大径大于后者[(2.01±0.88)和(1.42±0.55) mm;t=3.300,P=0.002]。T/Ne 与术前血清 PTH(r = 0.511, P<0.001)、术后病灶最大径(r=0.381, P=0.012)呈正相关, T/Nd 与术前血清 PTH(r = 0.538, P<0.001)、血钙(r,=0.348, P=0.022)及术后病灶最大径(r=0.463, P=0.002)均呈正相关。术 前血清 PTH、血钙与平面显像阳性关系的 ROC 曲线下面积分别为 0.725、0.646;术前血清 PTH 具有较 好的预测价值,最佳临界值为 150.4 ng/L。结论 ⁹⁹Tc^m-MIBI 平面显像阳性的 PHPT 患者血清 PTH、血钙 水平及病灶最大径与⁹⁹Tc^m-MIBI 摄取呈正相关;当血清 PTH 低于 150.4 ng/L,平面显像易出现假阴性, SPECT/CT 融合显像更具诊断价值,结合术前血清 PTH 及 CT 图像能进一步提高检出率。

【关键词】 甲状旁腺功能亢进症;放射性核素显像;体层摄影术,发射型计算机,单光子;体层摄影术,X线计算机;99m 锝甲氧基异丁基异腈

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200408-00142

Value of ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT imaging in preoperative diagnosis of primary hyperparathyroidism and its influencing factors

Zhang Yingying, Han Na, Wu Fengyu, Li Jiao, Lu Chenghui, Liu Xinfeng, Wang Guoqiang, Wang Zenghua, Wang Xufu

Department of Nuclear Medicine, the Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China Corresponding author: Wang Xufu, Email: wangxufu@sina.com

[Abstract] Objective To investigate the preoperative diagnostic value of 99 Tc m -methoxyisobutylisonitrile (MIBI) planar imaging and SPECT/CT imaging for primary hyperparathyroidism (PHPT), and analyze the relevant factors affecting the imaging results. Methods From June 2016 to September 2019, a total of 62 patients (15 males, 47 females, age range: 27–80 years) confirmed as PHPT by postsurgical pathology in Affiliated Hospital of Qingdao University were retrospectively enrolled. The diagnostic efficacies of 99 Tc m -MIBI planar imaging and SPECT/CT imaging were compared using \mathcal{X}^2 test. The differences of preoperative serum parathyroid hormone (PTH), Ca and the maximum diameter of lesion between the positive and negative groups of planar imaging were analyzed using independent-sample t test and Mann-Whitney U test. The region of interest (ROI) method was applied to calculate the uptake ratio of lesions to normal tissues at the early phase (T/Ne) and delayed phase (T/Nd) in positive cases of planar imaging. Pearson or Spearman correlation analysis was used to evaluate the correlation of T/Ne, T/Nd with preoperative serum PTH, Ca and the maximum diameter of lesion. The receiver operating characteristic (ROC) curves of preoperative serum PTH, Ca and positive planar imaging were drawn and the cut-off values were obtained. Re-

sults The sensitivity of planar imaging and SPECT/CT imaging was 69.35%(43/62) and 87.10%(54/62) respectively ($\chi^2 = 5.729$, P = 0.017). The preoperative serum PTH, Ca levels and the maximum diameter of lesion in patients with positive planar imaging (253.32(107.00, 331.70) ng/L, 2.78(2.51, 2.87) mmol/L, ($2.01\pm0.88)$ mm) were higher than those with negative planar imaging ((111.86 ± 44.29) ng/L, ($2.59\pm0.21)$ mmol/L, ($1.42\pm0.55)$ mm; z values: -2.802, -1.978, t = 3.300, all P < 0.05). T/Ne was positively correlated with preoperative serum PTH ($r_s = 0.511$, P < 0.001) and the maximum diameter of lesion (r = 0.381, P = 0.012), and T/Nd was positively correlated with preoperative serum PTH ($r_s = 0.538$, P < 0.001), Ca ($r_s = 0.348$, P = 0.022) and the maximum diameter of lesion (r = 0.463, P = 0.002). The area under the ROC curve between preoperative serum PTH, Ca and planar imaging was 0.725 and 0.646, respectively. Preoperative serum PTH had a better predictive value with the optimal cut-off value of 150.4 ng/L. Conclusions Preoperative serum PTH, Ca and the maximum diameter of lesion are positively correlated with " 97 Tc"-MIBI uptake in PHPT patients with positive planar imaging results. When preoperative serum PTH is lower than 150.4 ng/L, planar imaging is prone to false negative. SPECT/CT imaging has a significant value in preoperative diagnosis and the combination of PTH and CT can improve the positive rate.

[Key words] Hyperparathyroidism; Radionuclide imaging; Tomography, emission-computed, single-photon; Tomography, X-ray computed; Technetium Tc 99m sestamibi DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200408-00142

原发性甲状旁腺功能亢进症(primary hyperparathyroidism, PHPT)是由甲状旁腺原发病变(腺瘤、 增生和腺癌)引起的甲状旁腺激素(parathyroid hormone, PTH) 合成和分泌过多,导致以钙磷代谢紊乱 为基础的一系列临床症状,首选的治疗方法是手术 切除病灶,但前提是病灶定位明确。目前,PHPT患 者术前定位方法主要有超声、CT、MRI及核医学显 像。近年来,研究表明核医学显像较超声、CT及 MRI 在诊断 PHPT 方面有更高的灵敏度和特异 性[1-2]。以往的研究主要局限于对比⁹⁹Tc^m-甲氧基 异丁基异腈(methoxyisobutylisonitrile, MIBI)平面显 像及 SPECT/CT 融合显像的诊断效能,而分析影响 诊断效能因素的研究较少。本研究回顾性分析 PHPT 患者甲状旁腺显像图像特点,对比⁹⁹Tc^m-MIBI 平面显像及 SPECT/CT 融合显像的术前诊断价值, 分析影响 PHPT 患者显像结果的相关因素,并探讨 如何进一步提高检出率。

资料与方法

1.研究对象。回顾性分析 2016 年 6 月至 2019 年 9 月青岛大学附属医院临床怀疑 PHPT 并经手术病理证实的患者 62 例,其中男 15 例、女 47 例,年龄 27~80 岁,所有患者均在术前 1 个月内行⁹⁹Te^m-MIBI 平面显像、SPECT/CT 融合显像,并在同期检测血清PTH、血钙水平。纳入标准:(1)血清PTH 水平升高,同时伴有血钙水平升高或处于正常水平的上限;(2)有或没有典型临床表现,包括反复泌尿系统结石、骨痛、骨折等;(3)行手术治疗且术后病理为甲状旁腺腺瘤、增生或腺癌。排除慢性肾脏疾病引起的继发性甲状旁腺功能亢进症及其他疾病。本研究符合《赫尔辛基宣言》原则。

- 2.血清 PTH 及血钙检测。采集患者清晨空腹静脉血,用瑞士 Roche Cobas 6000 电化学发光免疫分析系统及配套试剂盒测定血清 PTH;用日本 HITACHI 7600 系列全自动生化分析仪测定血钙。血清 PTH 及血钙正常参考值范围为分别为 15~65 ng/L 和 2.11~2.52 mmol/L。
- 3.显像方法。采用配有 16 排诊断级 CT 的 SPECT/CT 显像系统 (德国 Siemens Symbia T16型),配低能平行孔准直器,能峰 140 keV,能窗 20%,采集矩阵 512×512,放大倍数 1.0。静脉注射"Tc^m-MIBI 370 MBq后,患者取仰卧位,分别采集早期相(15~25 min)和延迟相(2~2.5 h)的颈胸部平面图像。在延迟相采集结束后,均行颈胸部的 SPECT/CT 图像采集:双探头各旋转 180°,20 s/帧,矩阵 64×64,放大倍数 1.0;CT 电压 120 kV,电流 160 mA,重建层厚 1.5 mm。"Tc^m-MIBI 由江苏省原子医学研究所提供,放化纯为 95%~98%。
- 4.图像分析及处理。由 2 位以上核医学科资深 医师共同分析判断平面显像及 SPECT/CT 融合显像 图像。平面显像阳性标准:早期相可见颈部或上胸 部出现异常显像剂浓聚灶,延迟相上放射性浓聚灶 未见明显变淡或消退。SPECT/CT 融合显像阳性标 准:SPECT 影像表现为异常的放射性浓聚灶,CT 图 像上相应位置可见软组织密度结节影并除外甲状腺 结节。在平面显像阳性患者中,应用感兴趣区域 (region of interest, ROI)技术在早期相、延迟相甲状 旁腺病灶放射性浓聚部位及对侧相应部位勾画相同 大小的 ROI,并计算其平均放射性计数,计算早期相 及延迟相病灶与正常组织的摄取比值(tumor to nontumor, T/N),分别用 T/Ne 和 T/Nd 表示。
 - 5.统计学处理。采用 IBM SPSS 19.0 软件进行

数据分析,符合正态分布的定量资料用 \bar{x} ±s 表示,不符合正态分布的定量资料用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,定性资料以频数(百分比)表示。2 组间数据比较采用两独立样本 t 检验、Mann-Whitney U 检验或 X^2 检验;采用 Pearson 相关及 Spearman 秩相关分析患者 T/Ne、T/Nd 与术前血清 PTH、血钙水平及术后病灶最大径的相关性;分别建立血清 PTH、血钙与平面显像阳性关系的受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线,获得最佳临界值。P<0.05为差异或相关性具有统计学意义。

结 果

1.影像学检查及术后病理结果。62 例 PHPT 患者中,腺瘤46 例(单发44 例,多发2 例),增生13 例,腺癌3 例;共检出甲状旁腺病灶64 个。平面显像阳性43 例,灵敏度为69.35%(43/62),融合显像阳性54 例,灵敏度为87.10%(54/62),融合显像的灵敏度显著高于平面显像(X²=5.729,P=0.017)。8 例融合显像阴性患者的CT图上在甲状旁腺相应位置可见软组织密度影,病理示腺瘤6例(1例病灶内见出血、坏死),增生2例。

2 例多发病灶,其中1 例平面显像早期相及延迟相均见甲状腺右叶中部异常放射性浓聚灶,融合显像示甲状腺右叶中部后方异常放射性浓聚灶,CT可见软组织密度影,CT 另见甲状腺右叶下极下方软组织密度影,SPECT 图像上该密度影对应位置未见异常放射性浓聚,术后病理示(右中、右下甲状旁腺)均为甲状旁腺腺瘤;另1 例平面显像早期相及延迟相均未见异常放射性浓聚灶,配子可见软组织密度影,CT 另见甲状腺右叶下极下方软组织密度影,CT 另见甲状腺右叶下极下方软组织密度影,而 SPECT 图像上对应位置未见异常放射性浓聚,术后病理示(左下、右下甲状旁腺)均为甲状旁腺腺瘤。典型病例见图 1~3。

2.影像学检查结果与术前血清 PTH、血钙及术后病灶最大径的关系。根据显像结果分为平面显像阳性组及平面显像阴性组,2 组患者的年龄、性别差异无统计学意义(t=0.580,X²=0.067,均P>0.05);术前血清 PTH、血钙水平及术后病灶最大径差异有统计学意义(z 值:-2.802,-1.978,t=3.300,均P<0.05),平面显像阳性组均高于阴性组(表1)。T/Ne (1.540±0.351)与术前血清 PTH(r_s =0.511,P<0.001)、术后病灶最大径(r=0.381,P=0.012)呈正相关;T/Nd (1.466±0.313)与术前血清 PTH(r_s =0.538,P<

0.001)、血钙(r_s =0.348,P=0.022)及术后病灶最大径(r=0.463,P=0.002)均呈正相关。

3. ROC 曲线分析。术前血清 PTH、血钙与平面显像阳性关系的 ROC 曲线下面积分别为 0.725、0.646,最佳临界值分别为 150.4 ng/L、2.58 mmol/L。血清 PTH 具有较好的预测价值,其最佳临界值点对应的灵敏度、特异性、准确性、阳性预测值和阴性预测值分别为 58.14% (25/43)、17/19、67.74% (42/62),92.59%(25/27)和 48.57%(17/35)。

讨 论

PHPT 是一种因为 PTH 分泌过多而导致钙磷 代谢紊乱的全身性疾病,以血清 PTH 和钙升高、磷 降低为主要特点。PHPT 通常由甲状旁腺腺瘤或增 生引起,以甲状旁腺腺瘤最为常见,其中单发腺瘤占 80%以上,多发甲状旁腺腺瘤或增生灶约占15%,少 部分由甲状旁腺癌引起,约占1%~5%[3]。手术是 PHPT 的有效治疗方法,术前准确定位是减少并发 症及提高手术成功率的关键。多数研究表明在术前 甲状旁腺定位的方式中,放射性核素显像是最佳的 影像学方法[1-2],特别是对于 PHPT[4]。SPECT/CT 融合显像诊断 PHPT 的灵敏度(约为 84%~88%)高 于平面显像(约为 63%~74%)^[5-8]。本研究融合显 像灵敏度高于平面显像[87.10%(54/62)与69.35% (43/62); $\chi^2 = 5.729$, P = 0.017], 与既往研究^[5-8]结果 大致相同。然而,既往对于显像结果的影响因素以及 如何进一步提高检出率的研究却较少。

⁹⁹Tc^m-MIBI 显像原理在于 MIBI 可聚集于嗜酸 性粒细胞的线粒体中,功能亢进的甲状旁腺组织中 嗜酸细胞增多,较周围的甲状腺组织摄取更多的 MIBI,且其清除速度慢于正常甲状腺组织,因而功 能亢进的甲状旁腺组织显示为放射性增高灶。功能 亢进的甲状旁腺可分泌较多的 PTH. 从而进一步引 起血钙升高。本研究平面显像阳性组与平面显像阴 性组相比,2组术前血清 PTH 及血钙水平差异均有 统计学意义(均 P<0.05),且平面显像阳性组均高于 平面显像阴性组,表明血清 PTH 及血钙水平可能是 病灶摄取 MIBI 的影响因素。既往多个研究表明 T/ N与显像前血清 PTH 水平、血钙水平均呈正相 关[9-10],也有研究认为 T/N 仅与血清 PTH 水平有显 著相关性,与血钙没有相关性[11]。本研究结果提示 T/Ne 与术前血清 PTH 呈正相关, T/Nd 与术前血清 PTH 及血钙均呈正相关,这进一步表明病灶对于 MIBI的摄取与血清PTH及血钙水平有关, 笔者推测

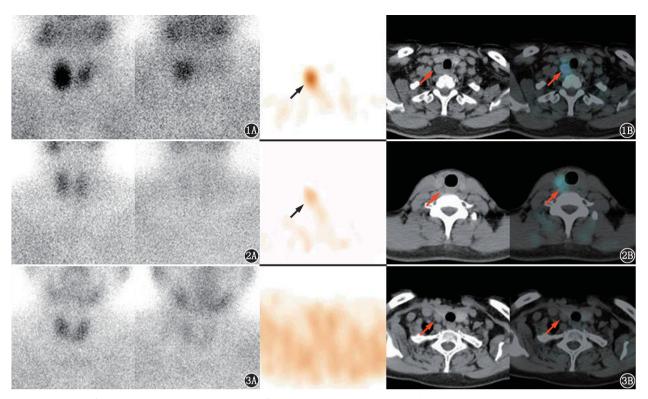


图 1 原发性甲状旁腺功能亢进症(PHPT)患者(女,50岁)⁹⁷Tc^m-甲氧基异丁基异腈(MIBI)显像图。1A.双时相平面显像,早期相(15 min)示甲状腺双叶摄取少量显像剂,甲状腺右叶部位见一显像剂浓聚灶,延迟相(2 h)示甲状腺双叶内放射性明显消退,甲状腺右叶部位显像剂浓聚灶仍清晰显影;1B. SPECT/CT 图像示甲状腺右叶后方见一显像剂浓聚灶,相应 CT 层面见一软组织密度结节影(箭头示),考虑甲状旁腺腺瘤。术后病理示右甲状旁腺腺瘤 图 2 PHPT患者(女,32岁)⁹⁹Tc^m-MIBI显像图。2A.双时相平面显像,早期相(15 min)示甲状腺双叶显像剂分布较均匀,延迟相(2.5 h)示甲状腺双叶显影消退,颈部、上纵隔未见明显异常显像剂浓聚灶;2B. SPECT/CT 图像示甲状腺右叶中上部后方见显像剂浓聚灶,相应 CT 层面见一软组织密度结节影(箭头示),考虑甲状旁腺腺瘤。术后病理示右甲状旁腺腺瘤样增生图 3 PHPT患者(女,46岁)⁹⁹Tc^m-MIBI显像图。3A.双时相平面显像,早期相(20 min)示甲状腺双叶显像剂分布较均匀,延迟相(2.5 h)示甲状腺双叶显影消退,颈部、上纵隔未见明显异常显像剂浓聚灶;3B. SPECT/CT 图像示甲状腺石叶下极下方见一软组织密度结节影,相应 SPECT层面未见异常显像剂浓聚(箭头示),考虑不除外甲状旁腺腺瘤。术后病理示右甲状旁腺腺瘤

男/女 术前血清 PTH 术前血钙 术后病灶最大径 年龄 组别 例数 (例) (岁) (ng/L) (mmol/L) (mm) 平面显像阳性 52.2 ± 11.7 10/33 253.32(107.00,331.70) 2.78(2.51,2.87) 2.01 ± 0.88 平面显像阴性 1.42±0.55 50.1±16.1 5/14 111.86±44.29 2.59 ± 0.21 检验值 0.580 3.300 0.067a -2.802^{b} -1.978b 0.575 0.048 0.002 0.795 0.005

表 1 99 Tc^m-MIBI 平面显像阳性组及阴性组一般资料比较[$\bar{x}\pm s$ 或 $M(P_{25}, P_{75})$]

注: a 为 X^{2} 值, b 为z 值, 余为t 值; MIBI 为甲氧基异丁基异腈, PTH 为甲状旁腺激素

当血清 PTH 及血钙水平低于某一界点时,患者的平面显像有很大可能性出现假阴性结果。

既往汪太松等^[12]以血清 PTH 高于上限 1 倍值 及正常血钙值作为分界点进行分组,得出结论:当血 钙≤2.7 mmol/L、血清 PTH≤130 ng/L 时, SPECT/ CT 显像阳性率较低。本研究通过建立血清 PTH、血 钙与平面显像阳性关系的 ROC 曲线,得到两者的最 佳临界值分别为 150.4 ng/L、2.58 mmol/L,两者的 曲线下面积分别为 0.725、0.646;血清 PTH 具有更 好的预测价值,特异性及阳性预测值均较好,提示当 血清 PTH≤150.4 ng/L 时,平面显像易出现假阴性。

本研究平面显像阳性组术后病灶最大径高于阴性组[(2.01±0.88)和(1.42±0.55) mm;t=3.300, P=0.002],且术后病灶最大径与 T/Ne、T/Nd 均呈正相关(r值:0.381、0.463,均 P<0.05);1 例假阴性病例病理示病灶内见出血、坏死;2 例多发病例均有假阴性病灶,以上结果表明病灶大小、数目及病灶的出血坏死会影响 MIBI 摄取。宁志伟等[13]的研究也表明

病灶不摄取 MIBI 的常见原因有病灶发生囊变、出血、病灶体积过小及病灶不止 1 个等。在本研究中有 8 例患者 SPECT 图像未见 MIBI 摄取,但 CT 图像上相应位置可见软组织密度的结节影,PTH 也均高于正常值上限,此 8 例患者术后病理示腺瘤 6 例、增生 2 例。因此,仅将摄取 MIBI 作为标准判定是否存在甲状旁腺病灶易出现漏诊。既往研究提示血清PTH 检测及 CT 图像可弥补部分甲状旁腺病变显像呈现假阴性的不足^[7,12]。因此,对于 MIBI 显像阴性的患者,如果临床高度怀疑 PHPT,其 PTH 高于正常值上限,并排除其他继发引起 PTH 升高的原因(如慢性肾病、骨软化症、维生素 D 缺乏等),则 CT 图像在甲状旁腺相应位置所显示的软组织密度结节应高度怀疑为甲状旁腺病灶,建议手术探查,减少漏诊。

综上,血清 PTH、血钙水平及病灶大小是平面显像结果的影响因素,且与⁹⁹ Tc^m-MIBI 摄取呈正相关;当血清 PTH 低于 150.4 ng/L 时,平面显像易出现假阴性,SPECT/CT 融合显像更具诊断价值;对于临床怀疑 PHPT 但 MIBI 显像阴性的病例,应结合血清 PTH 及甲状旁腺相应位置的 CT 表现综合判断。利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Hindié E, Zanotti-Fregonara P, Tabarin A, et al. The role of radionuclide imaging in the surgical management of primary hyperparathyroidism[J]. J Nucl Med, 2015, 56(5): 737-744. DOI: 10. 2967/jnumed.115.156018.
- [2] 钟箫, 欧晓红, 李林, 等. ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT 融合显像在甲状旁腺功能亢进症术前诊断中的应用价值[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(7): 395-399. DOI: 10.3760/cma.j. issn.2095-2848.2017.07.004.
 - Zhong X, Ou XH, Li L, et al. Value of ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT in pre-operative diagnosis of primary and secondary hyperparathyroid-ism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(7): 395-399. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.07.004.
- [3] Mohammadi A, Moloudi F, Ghasemi-rad M. The role of colour Doppler ultrasonography in the preoperative localization of parathyroid adenomas[J]. Endocr J, 2012, 59(5): 375-382. DOI:10. 1507/endocrj.ej11-0351.
- [4] 彭诗瑶,李盼丽,张艾米,等. ⁹⁹Te^m-MIBI SPECT/CT 融合断层显像在甲状旁腺功能亢进症中的应用价值[J].国际放射医学核医学杂志, 2018, 42(3): 195-200. DOI: 10.3760/cma.j.issn. 1673-4114.2018.03.001.
 - Peng SY, Li PL, Zhang AM, et al. Importance of ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT fusion imaging in primary and secondary hyperparathyroidism[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2018, 42(3): 195-200. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.03.001.
- [5] 顾宇参, 邬鹏跃, 张宏伟, 等. 99 Tc^m-MIBI SPECT/CT 对原发性 甲状旁腺功能亢进症的诊断价值[J]. 中华核医学与分子影像

- 杂志, 2016, 36(3): 242-245. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.03.009.
- Gu YS, Wu PY, Zhang HW, et al. Enhanced diagnostic value of ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT in patients with primary hyperparathyroidism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 36(3): 242-245. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.03.009.
- [6] Wei WJ, Shen CT, Song HJ, et al. Comparison of SPET/CT, SPET and planar imaging using ^{99m}Tc-MIBI as independent techniques to support minimally invasive parathyroidectomy in primary hyperparathyroidism; a meta-analysis[J]. Hell J Nucl Med, 2015, 18(2): 127-135. DOI:10.1967/s002449910207.
- [7] Treglia G, Sadeghi R, Schalin-Jäntti C, et al. Detection rate of ^{99m}Tc-MIBI single photon emission computed tomography (SPECT)/CT in preoperative planning for patients with primary hyperparathyroidism; a meta-analysis [J]. Head Neck, 2016, 38 (Suppl 1); E2159-2172. DOI;10.1002/hed.24027.
- [8] 华茜,巢琳,倪建明,等. SPECT/CT 对甲状旁腺功能亢进症病灶术前定位扫描方案的优化[J].中华核医学与分子影像杂志,2018,38(5):320-324. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.05.004.
 - Hua Q, Chao L, Ni JM, et al. Optimization of SPECT/CT scan schemes in localizing preoperative parathyroid lesions [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 38(5): 320-324. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.05.004.
- [9] 吴书婷,朱小华,张国鹏,等.甲状旁腺⁹⁰Tc^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增益价值[J].中华核医学与分子影像杂志,2016,36(5):436-440.DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.05.012.
 - Wu ST, Zhu XH, Zhang GP, et al. Incremental value of ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT imaging on the preoperative diagnosis of primary hyperparathyroidism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 36 (5): 436-440. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.05.012.
- [10] Zhou J, Lu DY, Xia L, et al. Diagnosis performance of ^{99m}Tc-MIBI and multimodality imaging for hyperparathyroidism[J]. J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci, 2017, 37 (4): 582-586. DOI: 10. 1007/s11596-017-1776-y.
- [11] Dugonjić S, Šišić M, Radulović M, et al. Positive ^{99m}Tc-MIBI and the subtraction parathyroid scan are related to intact parathyroid hormone but not to total plasma calcium in primary hyperparathyroidism[J]. Hell J Nucl Med, 2017, 20(1): 46-50. DOI: 10. 1967/s002449910506.
- [12] 汪太松,赵晋华,邢岩. ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT 双时相显像对原 发性甲状旁腺功能亢进症的诊断价值[J].中国医学影像学杂志, 2012, 20(11): 855-857. DOI: 10.3969/j. issn. 1005-5185. 2012.11.016.
 - Wang TS, Zhao JH, Xing Y. ⁹⁹Tc^m-MIBI SPECT/CT dual-phase imaging in diagnosing primary hyperparathyroidism[J]. Chin J Med Imaging, 2012, 20 (11): 855-857. DOI: 10.3969/j. issn. 1005-5185.2012.11.016.
- [13] 宁志伟,王鸥,徐竞英,等.原发性甲状旁腺功能亢进症患者术前病变甲状旁腺定位方法的评估[J].中国医学科学院学报,2003,25(3):280-284.
 - Ning ZW, Wang O, Xu JY, et al. Assessment of preoperative localization techniques for patients with primary hyperparathyroidism [J]. Acta Acad Med Sin, 2003, 25(3): 280-284.

(收稿日期:2020-04-08)